



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPTO. INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PLATAFORMA DE
EVALUACION DE TECNICAS DE ENTRALAZAMIENTO DE
BLOQUES PARA LA COMUNICACION ROBUSTA DE
IMAGENES SOBRE REDES DE SENSORES
INALAMBRICOS**

ERIC VALENTINO ORELLANA ROMERO
JAVIER ADOLFO SAN MARTIN HERNANDEZ

SEMINARIO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL EN AUTOMATIZACION

CONCEPCION - CHILE

ABRIL 2013



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPTO. INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PLATAFORMA DE
EVALUACION DE TECNICAS DE ENTRALAZAMIENTO DE
BLOQUES PARA LA COMUNICACION ROBUSTA DE
IMAGENES SOBRE REDES DE SENSORES
INALAMBRICOS**

ERIC VALENTINO ORELLANA ROMERO
JAVIER ADOLFO SAN MARTIN HERNANDEZ

CRISTIAN DURAN FAUNDEZ

Índice general

Introducción	VI
Nomenclatura	VIII
1. Redes de sensores inalámbricos	2
1.1. Nodos inalámbricos	3
1.2. Topologías de una WSN	5
1.3. Eficiencia energética en WSN	6
1.4. Aplicaciones de redes de sensores inalámbricos	7
1.4.1. Monitorización de terrenos	7
1.4.2. Mediciones en ambientes agrícolas	8
1.4.3. Mediciones en ambientes industriales	9
1.4.4. Aplicaciones orientadas a la salud	10
1.4.5. Otras aplicaciones	11
1.5. Redes de sensores inalámbricos con capacidad de visión	11
1.6. Objetivos	15
1.6.1. Objetivos generales	15
1.6.2. Objetivos específicos	16
1.7. Alcances	16
1.7.1. Imágenes Digitales	16
1.7.2. Generalidades	17
2. Entrelazamiento de bloques en imágenes digitales	19
2.1. Método de entrelazamiento de Turner and Peterson	23
2.2. Método de entrelazamiento DSJ-AL	24
2.3. Métodos de entrelazamiento de DeBrunner <i>et al.</i>	26
2.4. Método de entrelazamiento Torus Automorphisms	29

3. Evaluación de métodos de entrelazamiento de bloques	32
3.1. Simulador Sim-LIT	33
3.2. Establecimiento de cotas	37
3.2.1. Alcances de las simulaciones	38
3.2.2. Evaluación métodos de DeBrunner	38
3.2.3. Evaluación método DSJ-AL	39
3.2.4. Evaluación método Torus Automorphims	40
3.2.5. Evaluación método de Turner and Peterson	45
3.3. Evaluación de la mejor combinación de parámetros	48
3.3.1. Proceso de evaluación genérico	48
3.3.2. Evaluación de parámetros para Torus Automorphims	50
3.3.3. Evaluación de parámetros para DSJ-AL	51
3.3.4. Evaluación de parámetros para Turner and Peterson	52
3.3.5. Comparación de resultados	53
3.3.6. Evaluación de resultados reales	56
Conclusiones	66
Bibliografía	69
Apéndices	74
A. Resultados simulaciones métodos DeBrunner <i>et. al</i>	75
B. Imágenes utilizadas en experimentos	77
C. Especificaciones en el diseño de nodos	79
D. Parámetros acotados para el algoritmo de entrelazamiento Torus	82
E. Parámetros válidos para el algoritmo de en entrelazamiento Turner and Peterson	84

Índice de figuras

1.1.	Esquema de hardware de un nodo en WSN (Akyildiz et al., 2002)	3
1.2.	Sensor inalámbrico Crossbow MicaZ mote	4
1.3.	Topologías de redes WSN	5
1.4.	Comunicación multisalto en WSN	6
1.5.	Transmisión sobre WSN (JPEG) (Lecuire and Duran-Faundez, 2008)	15
1.6.	Transmisión de imágenes mediante WWSN	18
2.1.	Paquetización utilizando principio básico de entrelazamiento	20
2.2.	Transmisión de imágenes sobre WWSN utilizando entrelazamiento	22
2.3.	Transmisión secuencial de imágenes sobre WWSN	22
2.4.	Ejemplo de métodos de mezclado de DeBrunner <i>et al.</i> , primera implementación	29
2.5.	Gráfica de un toroide	31
3.1.	Esquema de simulación de Sim-LIT	35
3.2.	Funcionamiento de Sim-LIT, con, y sin, entrelazamiento de imágenes	36
3.3.	Gráficos de step v/s PSNR para imágenes de: (a): 32×32 , (b): 64×64 , (c): 128 \times 128 y (d): 256×256	40
3.4.	k v/s T . Parámetros fin de ciclos de mezcla en imágenes de 128×128 píxeles.	42
3.5.	Gráficos de n v/s PSNR para diferentes valores de k , $N = 128$	43
3.6.	k v/s T . Parámetros fin de ciclos de mezcla en imágenes de: (a) 32×32 , (b): 64×64 y (c): 256×256 píxeles	44
3.7.	Gráficos de n v/s PSNR para diferentes valores de k ; (a): $N = 32$, (b): $N = 64$ y (c): $N = 256$	46
3.8.	Imagen idéntica a la original luego de ser transmitida sobre canales propensos a pérdidas. (a) original, (b) ordenada y recuperada, (c) restaurada	49
3.9.	Gráfica de la mejor y peor dupla de parámetros, usando Torus interleaving, para interpolación polinomial de grado 8	50

3.10. Histograma de áreas bajo la curva para simulación utilizando Torus interleaving	51
3.11. Gráfica de la mejor y peor dupla de parámetros, usando DSJ-AL interleaving, para interpolación polinomial de grado 8	52
3.12. Histograma de áreas bajo la curva para simulación utilizando DSJ-AL interleaving	52
3.13. Gráfica de la mejor y peor dupla de parámetros, usando Turner and Peterson interleaving, para interpolación polinomial de grado 8	53
3.14. Histograma de áreas bajo la curva para simulación utilizando Turner and Peterson interleaving	54
3.15. Gráfica transmisión secuencial y entrelazada utilizando los mejores parámetros de cada método	55
3.16. Histograma de áreas bajo la curva general	55
3.17. Imagen referencial dispositivos Digi (Digi, 2014). (a) XBee, (b) Explorer	59
3.18. Interfaz de recepción	60
3.19. Imagen de Prueba (a) torre Eiffel e imágenes capturadas de forma secuencial	61
3.20. Imágenes capturadas empleando Torus interleaving	62
3.21. Imágenes capturadas empleando DSJ-AL interleaving	63
3.22. Imágenes capturadas empleando Turner and Peterson interleaving	64
A.1. Resultados de las simulaciones para los métodos propuestos por DeBrunner <i>et al.</i> . (a) Imagen n° 4, (b) Imagen n° 25, (c) Imagen n° 31, (d) Imagen n° 40	76
B.1. Imágenes utilizadas en simulaciones (SIPI, 2014)	78
C.1. Ejemplo secuencia de comandos para recuperación de imágenes capturadas mediante μcam	80
C.2. Diagrama esquemático del circuito emisor	81

Índice de cuadros

1.	Nomenclatura	VIII
2.1.	Secuencia de reordenamiento de DeBrunner <i>et al.</i> , segunda implementación .	30
3.1.	Transmisión imagen Lenna sobre WWSN, método de Turner and Peterson (1992), parámetros aleatorios	33
3.2.	Principales opciones de Sim-LIT	37
3.3.	Tabla resumen de áreas bajo la curva para cada técnica de entrelazamiento .	56
3.4.	Características microcontrolador PIC18F2550	57
3.5.	Características Xbee Pro serie 1	58
C.1.	Tabla de comandos μ cam-232 (4D-Systems, 2012)	79

Introducción

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) (Akyildiz et al., 2002) son afectadas por factores tales como errores en el canal, colisión y congestión que pueden producir errores de comunicación, provocando pérdidas de paquetes. Esta característica cobra real importancia en redes con capacidad de visión (WVSN), ya que las pérdidas pueden ser catastróficas en la calidad de la imagen recepcionada.

De modo más detallado, las WVSN's (Soro and Heinzelman, 2009) presentan problemas provocados por la extensa cantidad de datos generados (píxeles). Si bien, al capturar y transmitir alguna medida física son necesarios 2 o 3 bytes de información, para realizar igual tarea considerando imágenes son utilizados miles de bytes, agrupados en cientos de paquetes (dependen de la cantidad de bits utilizados para codificar un píxel, de la cantidad de bytes asignados a cada paquete, entre otros factores).

De este modo, ya que la transmisión utilizando WSN's está directamente ligada a la pérdida de datos, al considerar imágenes es necesario contar con técnicas de comunicación que permitan mantener la calidad final de ellas. En este punto, técnicas tradicionales tales como ACK y FEC o métodos de compresión tradicionales no se adaptan a las limitantes propias de este tipo de redes (Ferrigno et al., 2005; Duran-Faundez and Lecuire, 2008), por lo que es necesario evaluar nuevas técnicas.

De este modo, se estudia el entrelazamiento de imágenes como método de robustez a pérdidas (Duran-Faundez and Lecuire, 2008), suprimiendo la retransmisión de datos, para minimizar el gasto energético, y utilizando la redundancia inherente en los píxeles de una imagen para generar un bitmap aproximado al original utilizando algún método de ocultamiento de errores.

Así, se presenta el estudio de varias técnicas de entrelazamiento encontradas en la literatura, definiendo sus funcionamientos y simulando su desempeño en variados escenarios de prueba. Posterior a esto, se implementan las técnicas que entreguen un mejor desempeño en un circuito de pruebas y se verifica su funcionamiento en ambientes reales.

De este modo, en el Capítulo 1 se entregan las bases teóricas de las redes de sensores inalámbricos generales y con capacidad de visión, se nombran aplicaciones en las que se han utilizado, y se introduce el entrelazamiento de bloques. En el Capítulo 2 se estudian en detalle diferentes técnicas de entrelazamiento de bloques, mostrando sus funcionamientos y los métodos necesarios para su implementación. Posteriormente, en el Capítulo 3, se evalúa cada técnica analizada, entregando rangos de operación, examinando y comparando el desempeño de cada uno. Además, se muestran los resultados obtenidos luego de la implementación de las técnicas evaluadas, en un circuito de prueba, generando imágenes transmitidas mediante nodos de redes de sensores inalámbricos, bajo condiciones reales de comunicación.

Nomenclatura

A lo largo de este documento se utiliza la nomenclatura mostrada en el Cuadro 1.

Símbolo	Significado
H	Alto de una imagen en píxeles
W	Ancho de una imagen en píxeles
N	Dimensión imagen cuadrada en píxeles
x	Índice de filas en una imagen
y	Índice de columnas en una imagen
x'	Índice de filas en una imagen entrelazada
y'	Índice de columnas en una imagen entrelazada
$I(x, y)$	Función bidimensional que representa a una imagen, matriz con dimensiones $H \times W$ o $N \times N$
$I'(x, y)$	Función bidimensional que representa a una imagen entrelazada, matriz con dimensiones $H \times W$ o $N \times N$
L	Cantidad total de tonalidades de gris en la imagen
b	bits utilizados para representar cada píxel (bpp)
p	Píxel
P	Paquete de datos (píxeles)
m	Payload, bytes por paquete
p_l	Probabilidad de pérdida de un paquete
T	Valor del parámetro n de Torus interleaving para el que se genera la imagen reordenada

Cuadro 1: Nomenclatura

Capítulo 1

Redes de sensores inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricos (WSN, **Wireless Sensor Networks**) son redes de gran escala, compuestas por pequeñas unidades (nodos) en grandes cantidades, utilizadas para la adquisición de variables físicas (Stankovic, 2008), y/o detección de eventos, en extensas áreas geográficas, o en ambientes restrictivos para el hombre. Como idea fundamental están basadas en el trabajo colaborativo de los dispositivos que las componen, empleándose este principio en la transmisión de datos capturados o generados en nodos sensores, hasta un punto de colecta (Akyildiz et al., 2002), utilizando la red para este fin. Una característica derivada de la cantidad de dispositivos en la red y del ambiente en el que operan las WSN es la imposibilidad de contar con supervisión humana para administrar la red, por lo que los dispositivos que la componen deben ser energéticamente autónomos la mayor cantidad de tiempo posible y deben contar necesariamente con la capacidad de autorganización, siendo capaces de configurar los parámetros que establecen la red de manera automática, formando redes ad hoc multisalto que les permitan comunicarse entre nodos cercanos y con uno o más nodos colectores de información (Baronti et al., 2007). Dado esto, es posible el despliegue de dispositivos en algún área de interés de forma completamente aleatoria, por ejemplo lanzados desde un vehículo (suponiendo robustez mecánica para ello), comenzando a operar la red de forma autónoma, sin la necesidad de alguna post-configuración, desempeñando automáticamente la tarea para la que fue diseñada, hasta agotar las reservas de energía de cada dispositivo (Akyildiz et al., 2002).

A modo de comparación, las diferencias fundamentales detectadas por Akyildiz et al. (2002) entre redes de sensores inalámbricos y redes ad hoc tradicionales, son: la cantidad de nodos que las componen (mayor en WSN), la densidad de dispositivos en torno a un punto

(mayor en WSN), la propensión a fallas (mayor en WSN), una mayor frecuencia de cambios en la topología de las WSN, el paradigma de comunicación empleado (broadcast en WSN, punto a punto en redes ad hoc tradicionales), la utilización de nodos restringidos en poder de procesamiento y cantidad de memoria en redes de sensores inalámbricos, y, producto de la cantidad de dispositivos, la posibilidad de no tener un identificador global (ID) para cada nodo.

1.1. Nodos inalámbricos

Como se menciona en el apartado anterior, nodos inalámbricos se denomina a los dispositivos que componen una WSN. Así, una unidad debe poseer una etapa de transmisión/recepción inalámbrica, una etapa de procesamiento, una etapa de adquisición de medidas físicas (sensaje) y una fuente de alimentación (Stankovic, 2008; Akyildiz et al., 2002). De forma más específica, la etapa de procesamiento está compuesta de un microprocesador (idealmente de bajo consumo), memoria RAM, y memoria secundaria; la etapa de adquisición, de uno o más sensores y un convertor análogo digital (ADC); la etapa de transmisión/recepción, de un transceptor y una antena (Stankovic, 2008); y la fuente de poder, generalmente, de baterías de Litio (Li) o alcalinas. Además, es posible agregar una etapa de captación de energía del ambiente, la que en la mayoría de los casos corresponde a celdas solares (Akyildiz et al., 2002), permitiendo aumentar la vida operativa del dispositivo. El esquema propuesto por Akyildiz et al. (2002) (Figura 1.1) considera todas las etapas mencionadas, generando una visión gráfica de los nodos.

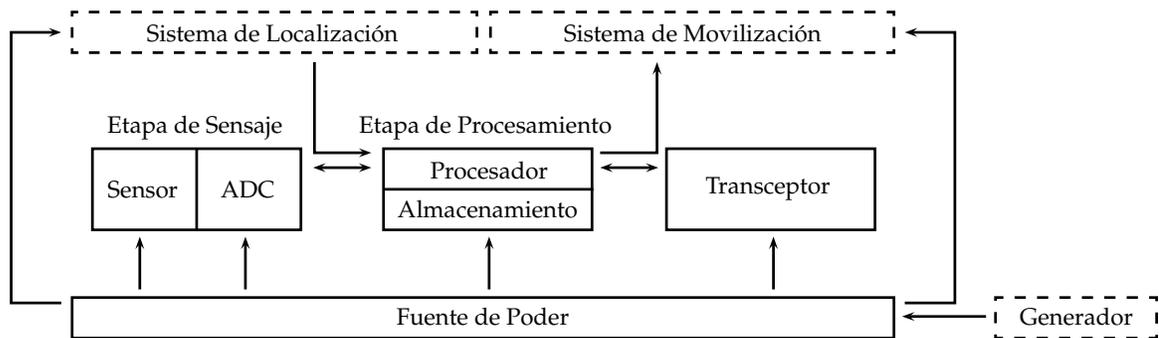


Figura 1.1: Esquema de hardware de un nodo en WSN (Akyildiz et al., 2002)

Así, ya que las WSN consideran la utilización de pequeñas unidades para el sensaje y transmisión de medidas, y dados los avances logrados en microelectrónica, se han fabricado

dispositivos móviles de tamaño reducido, dotados de los módulos (ver Figura 1.1) necesarios para adquirir variables físicas (dependiendo de los sensores con los que cuente), procesarlas y transmitirlos a un nodo colector (Baronti et al., 2007; Stankovic, 2008). A modo de ejemplo, un dispositivo que cumple con estas características es el Crossbow MicaZ mote (CrossBow; Ali et al., 2011), compuesto por un microcontrolador Atmel Atmega, con 4 KBytes de memoria RAM, 128KBytes de memoria Flash de programa, 512 KBytes de memoria Flash adicional, un transceptor de radio frecuencia (RF) IEEE 802.15.4 (2,4 GHz) con tasa de transmisión de hasta 250 Kbps en un rango de 50 metros, ADC de 10 bits, y una fuente de alimentación de 2 baterías alcalinas AA (Stankovic, 2008). En la Figura 1.2 se muestra una imagen del nodo. Otros modelos de dispositivos de WSN son comparados en (Baronti et al., 2007, Tabla 1).



Figura 1.2: Sensor inalámbrico Crossbow MicaZ mote

En cuanto a la comunicación inalámbrica, las WSN poseen características y restricciones que las hacen diferir en muchos aspectos de las tradicionales (Bluetooth, Wi-Fi, etc.), siendo necesario establecer estrategias de acceso al medio, de ruteo y transporte que las consideren. Algunas de estas particularidades, según Stankovic (2008), son la dificultad de realizar detección de colisiones, la imposibilidad de almacenar extensas tablas de ruteo, y la necesidad de prolongar el tiempo de “vida” del dispositivo, entre otras, complejizando la comunicación. Estas restricciones, surgen debido al ambiente en el que operan los nodos que componen la red, ya que, en muchas ocasiones resulta poco factible reemplazar las baterías de cada unidad (producto de la gran cantidad de nodos y de las extensas zonas geográficas el costo asociado es muy alto) siendo limitada la energía disponible y volviéndose imprescindible la operación eficiente de cada uno, empleando, por ende, componentes con bajos consumos energéticos, pero con limitadas prestaciones.

Por otro lado, es importante recalcar que, producto de las características antes listadas y del carácter inalámbrico de la transmisión (canales ruidosos), la cantidad de paquetes perdidos en WSN es mayor que el común en redes inalámbricas tradicionales (Akyildiz et al., 2002; Stankovic, 2008).

1.2. Topologías de una WSN

Las topologías utilizadas en WSN son dos, estrella y malla. En la Figura 1.3 (a) se muestra la topología estrella, la que consiste en desplegar nodos con capacidad de sensaje en el área de interés, y que estos, envíen sus datos a un punto de colecta. Este tipo de distribución es empleada en pequeñas zonas, ya que es necesario que todos los sensores mantengan comunicación directa con el colector. Por otro lado, en la Figura 1.3 (b) se muestra la topología malla, la que consiste en desplegar nodos sensores en áreas de sensaje mayores, comunicando a los nodos alejados del colector a través de los más cercanos, utilizándolos como “ruteadores”. Esta última es la topología más utilizada, y es empleada en aplicaciones típicas de WSN, pudiendo transmitirse las medidas capturadas por un sensor, hacia el colector, mediante cualquier otro dispositivo (líneas punteadas). Cabe destacar que la distribución de nodos en ambas topologías puede ser aleatoria, mostrándose “ordenada” sólo a modo de ejemplo ideal.

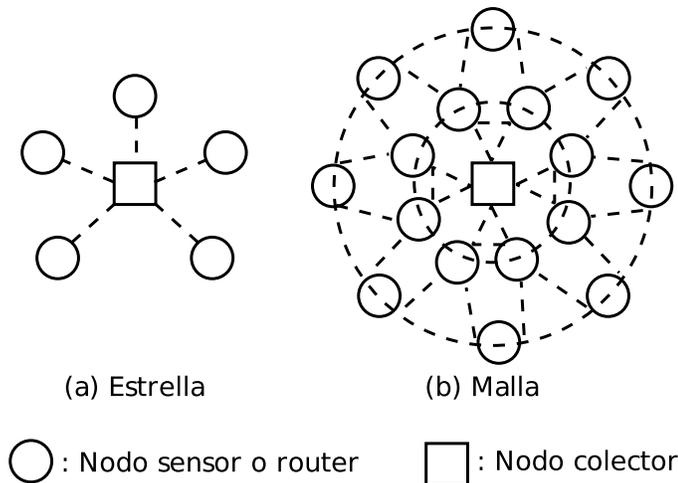


Figura 1.3: Topologías de redes WSN

Considerando lo antes expuesto, el protocolo de comunicación entre nodos consiste, típi-

camente, en inicializar cada dispositivo “buscando” (mediante broadcast) unidades vecinas dentro de su rango de cobertura, construyendo tablas locales de comunicación entre dispositivos colindantes (Stankovic, 2008). De esta forma, puesto que un nodo cualquiera sólo puede transmitir información hacia los dispositivos listados en esta tabla, se hace necesario el carácter multisalto de la red, para establecer comunicación entre nodos no contiguos, como se muestra en la Figura 1.4, permitiendo la transferencia de datos entre dispositivos que no están ubicados en un mismo radio de cobertura.

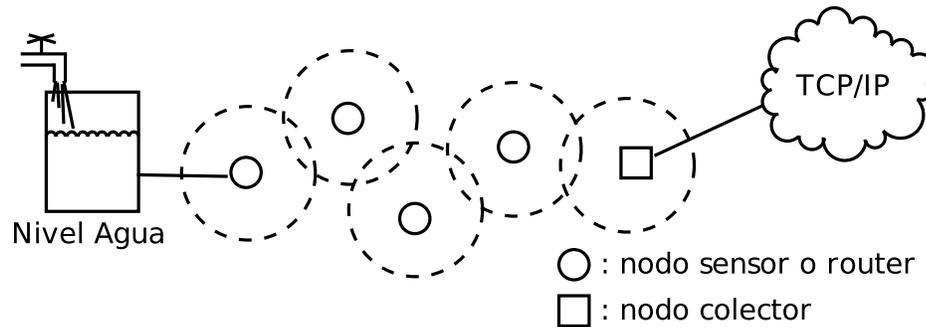


Figura 1.4: Comunicación multisalto en WSN

1.3. Eficiencia energética en WSN

Un importante tópico a tratar en WSN es la gestión de la energía, debiendo ser considerada tanto en el diseño de hardware como de software. Esta dependencia energética está dada por el hecho de alimentar al nodo mediante baterías y ser necesario que posean tiempos de vida relativamente largos (meses o años), cumpliendo su vida útil al agotar esta reserva (muchas veces no es posible recuperarlos). Considerando sus periodos de actividad, sumados al carácter de gran escala de la red y a la extensión geográfica que alcanza la misma, hace, a lo menos, difícil el recambio de las fuentes de poder de cada dispositivo, considerándose una tarea no deseada. Producto de esto, y con el fin de evitar consumos energéticos excesivos, se agregan restricciones a nivel de hardware en la capacidad de procesamiento, de almacenamiento, y de potencia de transmisión de los dispositivos, no utilizando componentes de alto poder e implementado la capacidad en los nodos de mantener sus componentes en stand by durante algún periodo de inactividad, considerándose “durmiendo” durante este tiempo, y activándose ante eventos particulares o al cumplirse un tiempo determinado (generalmente

alto), permitiendo el ahorro de energía durante este lapso (Akyildiz et al., 2007). A su vez, dadas las limitadas prestaciones del hardware, las aplicaciones de software se ven restringidas, siendo necesario el desarrollo de nuevas técnicas para el procesamiento y la comunicación. De este modo, a nivel de protocolos, el objetivo principal de los nuevos algoritmos de capa MAC, de red, y de transporte, es la comunicación fiable entre dos extremos de la red utilizando la menor cantidad de energía posible (Stankovic, 2008), maximizando el tiempo de operatividad. Así, producto de las características y restricciones asociadas a las WSN, es que el bajo consumo energético y el desarrollo de algoritmos económicos de implementar han cobrado gran relevancia, debiendo siempre considerar las limitantes del dispositivo durante el desarrollo de alguna aplicación.

1.4. Aplicaciones de redes de sensores inalámbricos

En la actualidad las WSN son utilizadas en diferentes áreas de aplicación, encontrándose en la literatura ejemplos como los mencionados a continuación.

1.4.1. Monitorización de terrenos

En esta área destaca el trabajo realizado por Márquez et al. (2006), en el que se da a conocer el proceso de diseño de una WSN basada en el estándar IEEE 802.15.4 (Baronti et al., 2007). De este modo, los objetivos planteados dicen relación con la monitorización de terrenos para aplicaciones medioambientales y control de explotaciones agrarias. Así, las WSN son consideradas una buena alternativa puesto que permiten la monitorización de grandes áreas de terreno, son autorganizables y tienen un bajo consumo de energía. Producto de esto, los autores diseñan un nodo inalámbrico con la capacidad de implementar diferentes sensores, desarrollan un protocolo de acceso al medio basado en WiseMAC (Ye and adn Deborah Estrin, June 2004) y diseñan un protocolo de ruteo para canalizar hacia el colector la información captada por los dispositivos lejanos. Dado esto, los autores determinan un modelo de potencias para el nodo receptor y el emisor, y muestran que el consumo de potencia depende del rendimiento de la red.

1.4.2. Mediciones en ambientes agrícolas

Medición de humedad en cultivos

El consumo y manejo del agua en actividades agrícolas genera importantes desafíos en cuanto a la cantidad utilizada en labores de riego. El principal inconveniente en esta área es la escasez del recurso, por lo que, en la actualidad se realizan riegos localizados controlados por tiempo (goteo, micro aspersión, etc.), sin embargo, este método de control no siempre resulta eficiente, ya que la cantidad de humedad en el suelo depende del tipo de este (arenosos, arcillosos, etc.). Considerando esto, Flores et al. (2010) proponen un sistema de medición de humedad subterránea en suelos de cultivo, empleando WSN, permitiendo conocer esta medida cuando el operador la solicite. De manera general, dicho sistema consiste en enterrar nodos inalámbricos sensores de humedad de modo que puedan captar el porcentaje de ésta, en torno a las raíces del cultivo monitorizado. Para ello, los autores diseñan nodos utilizando placas electrónicas circulares, con etapas independientes en cada una, posibilitando el anclaje de ellas sobre una carcasa cilíndrica que permite enterrar el sensor utilizado (sonda ECH_2O) a nivel de las raíces y mantener una antena a 20 cms. sobre el nivel del suelo, para permitir un mensaje y comunicación correctos. A modo de validación, se realizan experimentos con dos nodos sensores y uno colector, evaluando el funcionamiento general, el caso en que uno de los nodos sensores se encuentre bloqueado, no pudiendo comunicarse directamente con el colector, y el caso en que sea necesario agregar un nodo más a la red. Los resultados obtenidos demuestran que gracias a la comunicación multihop, y a la capacidad de autorganización de la red, las muestras siempre son recibidas por el nodo colector. Sin embargo, producto del protocolo de comunicación diseñado los consumos energéticos resultan altos, pudiendo mejorarlos al utilizar protocolos adecuados. A modo de conclusión, los autores indican que el funcionamiento de los nodos individualmente y de la red en su conjunto, entregan resultados satisfactorios, pudiendo definirse trabajos futuros en los que se aumente el número de nodos sensores, se disminuyan los gastos energéticos, e incluso, la captación de nuevas medidas de interés.

Medición de posición y variables fisiológicas de ganado bovino

En este estudio, Arce et al. (2009), utilizan WSN para la monitorización de posición y de variables fisiológicas (temperatura, frecuencia cardíaca y respiratoria, actividad cerebral) en 6 vaquillas de raza Holandesa. El objetivo principal de este trabajo es la detección de los factores que interfieren en la productividad del animal, siendo necesario para este cometido

comprender el comportamiento individual y grupal del ganado al generarse algún cambio climático. Para ello, se destaca la utilidad de las WSN producto de su carácter inalámbrico. Esto, ya que, al ser necesario adquirir las medidas evitando la alteración de los animales producto del estrés producido al confinar al animal en algún lugar adecuado para realizar el proceso manualmente, resulta ideal su captación sin ser necesario retirar a los bovinos de las praderas. Además, otras características son deseadas, como por ejemplo, la capacidad de autorganización, el tamaño reducido de los dispositivos, la posibilidad de agregar una gran cantidad de nodos a la red, los bajos consumos energéticos, etc. Así, el estudio realizado consiste en la realización de dos experimentos con duración de una semana, en la Facultad de Zootecnia e Ingeniería de Alimentos de la Universidad de São Paulo, consistiendo en monitorizar el comportamiento del ganado bovino a través de un cabestrillo (en el cuello del animal) con un nodo inalámbrico en su interior. Los resultados obtenidos luego de estos, arrojan que el rebaño se comporta como un grupo individualizado y jerarquizado, dentro del cual se destacan dos tipos de líderes, el líder social, directamente ligado a la estructura jerárquica del grupo, y el líder espacial, el animal que tiene la iniciativa de efectuar algún movimiento en respuesta a un estímulo o en función de poseer mayor conocimiento sobre el área de cría y sus recursos. Además, producto de los datos obtenidos, se genera un modelo de comportamiento espacial, pudiendo determinarse, a través de él, dicha característica en cada integrante del grupo. Dado esto, los autores diseñan un simulador de desplazamiento del rebaño que posteriormente les permite definir los lugares óptimos para la instalación de nodos colectores fijos. Así, luego de las pruebas y análisis realizados por los autores, se concluye que el sistema implementado es eficiente en la obtención de trechos EEG (resultados coincidentes con la literatura), además de permitir la captura de medidas biológicas sin agregar estrés al animal sensado. Además, se pretende que el sistema implementado sea implementado en rebaños numerosos, permitiendo realizar identificación de parámetros de confort en los bovinos durante la crianza, pudiendo realizar acciones preventivas ante cambios climáticos, y aumentando, por ende, los niveles de productividad.

1.4.3. Mediciones en ambientes industriales

En el trabajo realizado por González et al. (2010), se utiliza WSN en un ambiente industrial. El sistema mostrado en el documento consiste en la medición de temperatura y pH al interior de tanques que alojan componentes corrosivos destinados a la curtiembre del cuero, proceso que consiste en colocar pieles dentro de un fulón (cilindro de madera de gran tamaño) y disolver el pelo de las pieles utilizando cal y sulfuro de sodio. Las principales motivaciones

para desarrollar este trabajo son la necesidad de obtener medidas en tiempo real; con el fin de realizar, eventualmente, alguna acción de control sobre el proceso (a través del operador); y evitar la exposición del personal a gases corrosivos. Estos objetivos son propuestos pues las mediciones de estas variables son realizadas de forma manual, debiendo detener el proceso y exponer al operador cada vez que es necesario monitorizarlo. Así, se implementa un sistema de medición que consta de un nodo sensor al interior de cada fulón y otro, en el exterior (conectado a un computador), como punto de colecta. Los dispositivos utilizados para esta tarea son los desarrollados por la empresa Crossbow, detallados en la Sección 1.1, los que, mediante el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4, logran funcionar en este ambiente sin mayores problemas. Además, los autores diseñan e implementan un sensor de temperatura, un sensor de pH y un software, instalado en el computador conectado al nodo colector, utilizado como HMI (Human Machine Interface) de terreno. De esta forma, el sistema permite, a través de una aplicación de usuario, registrar y manejar las medidas capturadas en tiempo real y sin la necesidad de detener o intervenir el proceso, cumpliéndose los objetivos planteados. Algunas consideraciones a la que hacen referencia los autores son, la posibilidad de establecer redes de 255 sensores por cada colector, que es posible tener una distancia indoor del orden de los 50 metros, aproximadamente, entre nodos sensores (siendo un poco más flexible al aire libre), que la tasa de pérdidas de datos entre sensores y colector es de alrededor de un 13%, y que la duración estimada de las baterías, luego de los experimentos realizados, no superaría los tres meses. Además de esto, se destaca que el sistema es fácil de instalar, que brinda información en tiempo real de las variables importantes del proceso; mejorando el seguimiento y el control del mismo; y que agrega mejoras sustanciales al proceso actual de medida, eliminando posibles errores de operación, de registro, y aumentando la seguridad del operador de forma considerable.

1.4.4. Aplicaciones orientadas a la salud

Otra importante aplicación de WSN es la propuesta por Morillo et al. (2006), generando un nuevo enfoque basado en redes de sensores inalámbricos inteligentes, las cuales permiten superar las limitaciones actuales en el área de la medicina. Específicamente, se propone la utilización de estos para la adquisición de medidas fisiológicas del paciente, teniendo como objetivo la evaluación de éste de forma remota. En el artículo se destaca que en 1993 el IEEE y el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), comenzaron a trabajar en un estándar para redes de sensores inteligentes. El resultado fue el estándar 1451, teniendo por objetivo hacer posible que distintos tipos de sensores inteligentes, fabricados por distintas

industrias, puedan conectarse a la red de forma estándar. El uso de esta tecnología dotará al paciente de una gran independencia, ya que desaparecerán los cables y se permitirá tanto la monitorización remota en tiempo real como la monitorización offline. Un punto destacado por los autores es el continuo avance en la miniaturización y aumento de prestaciones de los dispositivos embebidos, logrando generar dispositivos cada vez menos invasivos. Así, se logra dotar a los sensores de herramientas necesarias para que se identifiquen como Web Service, permitiendo una rápida y fácil integración con el resto de elementos del sistema mediante el uso de estándares ampliamente difundidos, destacando que en la actualidad se está trabajando en la definición de un modelo que determine cómo deben organizarse los diferentes sensores que componen la red, definiendo una ontología que permita evolucionar desde el actual conocimiento sintáctico, al conocimiento semántico de la información y de los elementos que intervienen en el sistema. Este nuevo enfoque servirá para aumentar la autonomía de los dispositivos, al grado de ser capaces de auto organizarse, auto configurarse, auto gestionarse y auto adaptarse usando metodologías basadas en inteligencia artificial.

1.4.5. Otras aplicaciones

Además de las prestaciones mostradas en las secciones anteriores, es posible encontrar aplicaciones en áreas militares, domótica, vigilancia, comerciales (Akyildiz et al., 2002), entre otras. Producto de esto, es posible afirmar que las WSN son redes ampliamente utilizadas, generándose nuevos campos de aplicaciones conforme son más utilizadas.

1.5. Redes de sensores inalámbricos con capacidad de visión

Dadas las características y restricciones inherentes a las WSN, y puesto que las variables físicas comúnmente sensadas (temperatura, presión, luz, nivel, etc.) son almacenadas en pocos bytes y no necesitan preprocesamiento complejo, la energía utilizada en cada transmisión es pequeña y la capacidad de cómputo en cada nodo es adecuada, no generándose mayores inconvenientes al capturar y transmitir estos datos mediante esta tecnología. No obstante, en el caso particular de contar con dispositivos con capacidad de captura de imágenes (Wireless Vision Sensors Networks, WWSN) (Soro and Heinzelman, 2009; Akyildiz et al., 2007) la cantidad de datos a enviar crece estrepitosamente, alcanzando cientos o miles de bytes (dependiendo de la dimensión de estas y de la cantidad de bits utilizados para representar un

píxel, entre otras), por lo que el gasto de energía de captura, procesamiento (preprocesamiento y empaquetado) y transmisión es más importante que en el caso tradicional. Producto de esto, el no establecer estrategias adecuadas para estos procesos puede llevar a la extinción (agotamiento de las baterías) de los nodos en la red rápidamente. En esta misma línea, otra problemática a considerar es el medio utilizado para la comunicación de los dispositivos, ya que al ser transmitida la información de forma inalámbrica los paquetes enviados son susceptibles a importantes pérdidas producto de interferencias, congestión, colisiones o posibles fallas en los nodos intermedios, entre otras, siendo necesario contar con estrategias que permitan mantener la calidad de la imagen capturada sin generar gastos energéticos excesivos.

En cuanto a estrategias de transmisión, ya que es necesario el envío de una gran cantidad de datos y la energía disponible es limitada, una posible solución puede consistir en comprimir las imágenes luego de la captura y antes del envío, ya que, intuitivamente, al transmitir una menor cantidad de paquetes la energía consumida debiera reducirse. Sin embargo, resulta importante la evaluación de la técnica a utilizar, debiendo ser económica de implementar. Esto queda corroborado por el trabajo realizado por Wu and Abouzeid (2004), en el que se estudia la relación existente entre la energía utilizada por los nodos durante el procesamiento y transmisión de los datos. Así, los autores postulan que en una red multisalto densa (con gran cantidad de nodos) disminuye la energía utilizada durante la transmisión (ya que las distancias entre nodos son relativamente pequeñas), cobrando importancia el gasto de procesamiento del módulo. De esta forma, se concluye que, “contrariamente a la creencia popular” la máxima compresión antes de la transmisión no asegura un gasto mínimo de energía ya que es necesario procesar los datos, lo que puede resultar en un mayor consumo. En esta misma línea Ferrigno et al. (2005) identifican dos problemas a tener en cuenta al momento de comprimir imágenes en WSN. El primero de ellos considera que la cantidad de energía necesaria para comprimir es comparable a la utilizada en la transmisión, y la segunda es que la compresión podría reducir la legibilidad de la información, problema que se ve acrecentado en redes densas. De este modo, puesto que los métodos tradicionalmente usados en transmisión de imágenes no generan los resultados esperados al aplicarlos en WWSN, se hace necesario establecer métodos que permitan enviar y mantener la calidad en la imagen recepcionada, utilizando para ello la menor cantidad de energía posible. De este modo, un posible método de ahorro energético consiste en la disminución de los datos a transmitir, pero considerando el gasto de procesamiento. Un ejemplo de esto, compresión sobre WWSN considerando el gasto energético y utilizando las propiedades inherentes a las WSN, es el trabajo realizado

por Wu and Abouzeid (2004). En el documento, se especifica un modelo de estimación de consumo energético durante la transmisión, y recepción de datos, y se utiliza como técnica de compresión JPEG2000. Así, se considera la elección de Q (niveles de descomposición de la imagen mediante la transformada de Wavelet) como un problema de optimización. De esta forma, existe un valor Q_{opt} óptimo que minimiza el total de energía requerida en el proceso, no correspondiendo necesariamente a la máxima compresión. En la primera etapa del algoritmo se determinan los parámetros asociados a la compresión de los datos (cuantización y niveles de la transformada de Wavelet), los que son calculados para satisfacer las necesidades de calidad de las imágenes. En este punto, los autores determinan estos parámetros por medio de una tabla, generada previamente mediante exhaustivas simulaciones sobre una imagen de muestra. Una vez conocidos los parámetros de compresión, Q es inicializado en cero, comprimiendo la imagen y obteniendo el total de energía disipado E_{total} , a través del modelo. Luego, se incrementa Q en 1, comprimiendo nuevamente la imagen y calculando un valor de E_{total} . Ambas predicciones son comparadas, reiterando el proceso mientras el valor de E_{total} nuevo sea menor que el antiguo. Cuando el procedimiento se detiene, una vez que una próxima compresión produce un mayor consumo energético que la anterior, se obtiene el valor de Q (anterior al actual) que minimiza el consumo energético y se transmite la imagen comprimida utilizando este parámetro.

Bajo una línea similar de trabajo, Zuo et al. (2012) desarrollan un esquema de transmisión para maximizar la vida útil *de la red* de sensores, el que está basado en la compresión y transmisión colaborativa de los nodos. Para esto, los autores consideran el agrupamiento de un nodo con capacidad de visión y muchos nodos sin sensores (routers) sobre una red inalámbrica heterogénea, siguiendo los pasos a continuación:

1. El nodo cámara establece el cluster. Para ello envía un mensaje por broadcast a los nodos en un radio R_c , generando la comunicación con los que respondan. La determinación del radio de transmisión R_c es un factor importante, ya que de ser muy pequeño existe la posibilidad que respondan pocos nodos, y de ser muy extenso, podría existir conflicto con nodos cercanos a otros clusters. El método utilizado para esto es mostrado en (Zuo et al., 2012, Secciones 4.1.1 y 4.1.2), y se encarga de determinar el radio de transmisión en base a las respuestas de los nodos cercanos. Una vez seleccionado, y establecido el cluster, se determina a que nodo será enviada la próxima imagen para ser comprimida, en base a la energía disponible en cada uno, con el fin de equiparar el gasto energético de los componentes del cluster.

2. Una vez establecido el cluster, y determinados los parámetros anteriores, todos los nodos router son reagrupados, estableciendo el nodo cluster head.
3. Se envían las imágenes a los nodos para ser comprimidas, según el plan previamente establecido. Luego, de ser comprimidas, cada nodo envía los datos al cluster head, el que los direcciona al nodo colector.

Así, el nodo cámara captura las imágenes, enviando cada una al nodo router con mayor energía (estimación en base al modelo propuesto por Wu and Abouzeid (2004)) en el momento, para ser comprimida y posteriormente transmitida al nodo cluster head que la direcciona al nodo colector. Luego de realizar la evaluación del esquema, se observa un menor consumo energético global, aumentando la vida útil del cluster de forma exponencial a medida que se aumenta el número de nodos participantes. Además, para nodos con diferente cantidad de energía inicial se corrobora que la energía residual en cada nodo es balanceada, con la del resto de los nodos, luego de algunos ciclos.

Si bien las técnicas presentadas anteriormente disminuyen la energía utilizada en la transmisión de imágenes, no se han considerado las pérdidas de datos producto de la naturaleza de la red. Específicamente, la alta tasa de datos perdidos producto de la naturaleza de los canales de comunicación, puede provocar imágenes recepcionadas de mala calidad, llegando al punto de ser inutilizables. De este modo, dada la necesidad de mantener la calidad de la imagen transferida, en redes tradicionales, se utilizan protocolos de fiabilidad tales como ARQ o FEC, sin embargo, producto de las restricciones energéticas de los dispositivos, se considera poco apropiada su utilización, ya que, generan un aumento en la latencia durante la transmisión e incrementa el consumo de energía, convirtiéndose en una solución costosa. Un ejemplo de esto es mostrado en (Duran-Faundez and Lecuire, 2008), donde el consumo y tiempo empleado para la captura, procesamiento y transmisión de una imagen monocromática de dimensiones 128×128 es de $2374 mJ$ y 30,20 segundos; sin utilizar retransmisión y considerando la ejecución de un algoritmo de robustez a pérdidas; mientras que la transmisión de igual imagen; sin considerar el algoritmo antes mencionado y utilizando una transmisión basada en ARQ; se incrementa el consumo a $3690 mJ$ y el tiempo a 48,95 segundos. Debido a esto, una posible solución puede consistir en eliminar la retransmisión de datos, sin embargo, al combinar esto con métodos de compresión pueden generarse resultados desfavorables. Por ejemplo, al utilizar el estándar de compresión de imágenes JPEG, experimentos demuestran que debido a la alta dependencia existente entre los bloques de datos comprimidos, la aplicación de esta técnica conlleva a importantes degradaciones en la calidad de

las imágenes recibidas cuando no se aplican métodos de comunicación fiables (como ARQ o FEC) (Duran-Faundez et al., 2011). Gráficamente, esto es presentado en la Figura 1.5, donde para un pequeño porcentaje de paquetes perdidos (1 % y 5 %) las imágenes recepcionadas son extremadamente defectuosas.



Figura 1.5: Transmisión sobre WSN (JPEG) (Lecuire and Duran-Faundez, 2008)

Debido a estos problemas, al consultar la literatura se encuentra una técnicas que agrega robustez a la transferencia de imágenes prescindiendo de la retransmisión de datos. Así, en base a los trabajos realizados por Lecuire and Duran-Faundez (Duran-Faundez and Lecuire, 2008; Duran-Faundez et al., 2011), se adopta el entrelazamiento de bloques como técnica de robustez en canales no fiables, pudiendo ser utilizado en imágenes con o sin compresión (bloques independientes).

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivos generales

1. Estudiar, analizar y comparar algoritmos de entrelazamiento de bloques, para el incremento de la robustez de esquemas de transmisión no fiables de imágenes estáticas sobre redes de sensores inalámbricos.
2. Implementar un nodo prototipo sensor inalámbrico de visión que permita la captura y transmisión de imágenes estáticas, aplicando los algoritmos estudiados en ambientes de aplicación real.

1.6.2. Objetivos específicos

1. Estudiar algoritmos de entrelazamiento de bloques presentes en la bibliografía.
2. Implementar una plataforma virtual (simulador) para el estudio de algoritmos de entrelazamiento de bloques.
3. Implementar los algoritmos presentes en la bibliografía en dicho simulador.
4. Evaluar los algoritmos implementados.
5. Determinar el algoritmo que presente mejores resultados durante las simulaciones.
6. Diseñar y construir un nodo sensor inalámbrico prototipo con capacidad de visión.
7. Implementar el algoritmo mejor evaluado en las simulaciones en el nodo prototipo.
8. Comparar resultados simulados y reales.

1.7. Alcances

1.7.1. Imágenes Digitales

En este apartado se define formalmente el concepto de imagen digital, utilizando la nomenclatura definida para referirse a ellas durante todo el documento. Además, se define la métrica de calidad PSNR, la que es utilizada posteriormente para evaluar el desempeño de los métodos de entrelazamiento utilizados.

Una imagen se define como una función bidimensional $I(x, y)$ y puede ser representada mediante matrices. En tal caso, x e y indican las coordenadas espaciales de cada componente de la imagen en la matriz, e I representa su intensidad. El conjunto de estos tres elementos (x, y, I) definen un **píxel**, los que al ser finitos y encontrarse cuantizados componen a una imagen digital. Más información sobre representación y adquisición puede ser encontrada en (Gonzalez and Woods, 2002, capítulo 2). De manera formal, el modelo a seguir para referirnos a una imagen en escala de grises y sin comprimir está dado por la función $I(x, y)$ como una matriz de dimensiones $H \times W$, de esta forma $x, y, I(x, y) \in \mathbb{N}$ tal que $0 \leq x < H \wedge 0 \leq y < W \wedge 0 \leq I(x, y) < L$, donde L depende de la cantidad de bits b , $b \in \mathbb{N}$, utilizados para representar un píxel, siendo el caso más tradicional

$b = 8 \left[\frac{\text{bits}}{\text{pixel}} \right]$ y $L = 256$. En el caso de una imagen a color, sin comprimir y utilizando la representación RGB, el modelo anterior debe ser replicado 3 veces, teniendo una matriz para el color **rojo**, otra para el **verde** y una tercera para el **azul**.

En cuanto a la evaluación de la calidad de imágenes, se utiliza la métrica PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), puesto que es ampliamente utilizada para este fin. Esta medida corresponde a la relación entre la potencia máxima de una señal y el ruido que afecta a su representación. De esta forma, para calcularlo se emplea el error cuadrático medio, quedando definido para dos imágenes monocromáticas (I e I') de dimensiones $H \times W$, según la Ecuación 1.1.

$$MSE = \frac{1}{H \times W} \sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{W-1} |I(x, y) - I'(x, y)|^2 \quad (1.1)$$

Luego, el cálculo del PSNR entre estas dos imágenes se define según la Ecuación 1.2 (Hore and Ziou, 2010).

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (1.2)$$

1.7.2. Generalidades

En los últimos años la cantidad de trabajos en la temática de la comunicación de imágenes sobre WSN ha aumentado. Hasta el momento la mayor parte de los trabajos se enfocan en aspectos conducentes a reducir el consumo energético de los nodos, principalmente mediante compresión a través de la adaptación de algoritmos y de protocolos de comunicación. La problemática de la tolerancia a pérdidas ha sido poco estudiada, sin embargo, cada vez más trabajos muestran interés en esta materia. El entrelazamiento de píxeles es una de las técnicas mejor adaptadas para mejorar la robustez del sistema de comunicación en canales con altas tasas de pérdidas cuando las soluciones basadas en retransmisión o redundancia de información (ARQ o FEC) parecen inadaptadas. Es por esta aseveración que cobra gran relevancia el estudio de algoritmos presentes en la bibliografía, generando comparaciones entre ellos y determinando cuál obtiene mejores resultados en determinadas situaciones. Sin embargo, en la actualidad, las herramientas de simulación resultan escasas, no encontrándose en la literatura documentos al respecto en el área de la simulación de WWSN. De este modo, en el presente trabajo, se pretende sentar las bases en la generación de un framework para la simulación de WSN con capacidad de visión, desarrollando un software que permita el cum-

plimiento de estos objetivos, pero que además considere la inclusión de nuevas técnicas de entrelazamiento, optando a convertirse en una herramienta útil para la comunidad de investigadores. Cabe destacar que se considera la realización de este simulador como software libre.

Dadas las características de las WWSN se consideran imágenes de pequeño tamaño, cuadradas, monocromáticas de 8 bpp, con resoluciones del tipo 2^n tal que $n \in \mathbb{N}$. Esto facilitará el modelamiento y aplicación de las técnicas, agilizando la obtención de resultados de simulación.

Acotando los análisis requeridos, este trabajo se centra en la experimentación sobre imágenes estáticas (no considerando vídeo). Por otra parte, se pretende estudiar el entrelazamiento de bloques para imágenes sin comprimir, considerando como factores preponderantes la calidad de la imagen resultante luego de la transmisión y la energía utilizada para realizar el proceso. Además, producto de la cantidad de patrones de pérdidas necesarios, se utilizan 220 archivos que contienen datos reales, capturados de una WSN, no simulándose características de la red, como topología, capaz de protocolos, etc., ni del medio (conductividad, etc.). En este sentido, la comunicación entre el nodo emisor y el colector es considerada una caja negra en la que se generan pérdidas de datos, como se muestra en la Figura 1.6.

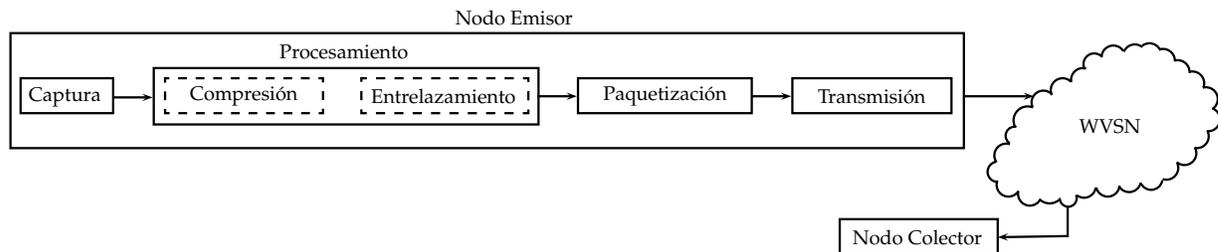


Figura 1.6: Transmisión de imágenes mediante WWSN

Capítulo 2

Entrelazamiento de bloques en imágenes digitales

Esta técnica es utilizada como método de robustez en transmisión de imágenes digitales, sobre WWSN, en comunicaciones susceptibles a pérdidas. El principio sobre el que se basa este método es la correlación inherente entre píxeles adyacentes, ya que al perderse algún píxel producto del extravío de paquetes, es posible estimar su valor a partir de la información recepcionada por sus vecinos (Turner and Peterson, 1992), obteniéndose un mejor valor al disponer de una cantidad mayor de píxeles colindantes. Dado esto, para aumentar la probabilidad de recibir la mayor cantidad de píxeles adyacentes a uno faltante es que el bitmap de la imagen a enviar es “mezclado” (entrelazado) previo, o durante, a la compresión (opcionalmente) y paquetización de los datos, agrupando píxeles no contiguos en un mismo paquete, de modo que en caso de extraviarse alguno se espera que los píxeles faltantes en la imagen, una vez reordenada, estén separados entre sí. En la Figura 1.6 puede observarse el proceso de captura y comunicación de imágenes a través de WWSN.

La transferencia de imágenes sobre redes de sensores inalámbricos es un proceso crítico debido a la cantidad de datos involucrados y a las limitaciones energéticas, de procesamiento y de almacenamiento de datos en los dispositivos que las componen (Turner and Peterson, 1992; Ferrigno et al., 2005; Baronti et al., 2007; Duran-Faundez and Lecuire, 2008). Debido a esto, es necesario establecer estrategias de transmisión considerando estas restricciones para asegurar buenos resultados y mantener la red operativa la mayor cantidad de tiempo posible. Considerando además, que se transmite con altas tasas de pérdidas y sin retransmisión de datos, se hace necesario contar con algoritmos sencillos que aseguren la robustez del sistema

de comunicación.

Como se menciona en el capítulo anterior de este documento, el consumo energético en nodos de WSN es un factor primordial. Así, para transferir imágenes digitales y respetar las limitantes expuestas se establece la transmisión de imágenes sobre canales sin retransmisión de datos, empleando como técnica de aseguramiento de la calidad (robustez a pérdidas de paquetes) el entrelazamiento de píxeles, o bloques de píxeles, antes del envío o durante éste (Turner and Peterson, 1992; Duran-Faundez et al., 2011). El principio del entrelazamiento consiste en transferir píxeles adyacentes de la imagen original en paquetes lo más alejados posible, siendo el ideal contar con paquetes en los que no se encuentre almacenado ningún píxel vecino. Empleando esta técnica, ya que no es una opción la retransmisión de datos, se reciben imágenes con píxeles faltantes, los que pueden ser recuperados a través de técnicas de ocultamiento de errores como las listadas por Turner and Peterson (1992, p. 261), calculando a partir de los píxeles vecinos, y dada la alta correlación entre ellos, un valor aproximado para los faltantes. Así, de forma genérica, un algoritmo de entrelazado considera desordenar el bitmap original asignando posiciones diferentes a los píxeles adyacentes en la imagen inicial para asegurar que sean transmitidos en paquetes diferentes, de modo que si es extraviada información durante este proceso, la imagen pueda ser reconstruida, obteniendo resultados aproximados a la imagen original, situación que es suficiente en muchas aplicaciones (Duran-Faundez and Lecuire, 2008). En la Figura 2.1 se observa la paquetización de los primeros tres píxeles de una imagen, asignando cada uno a paquetes diferentes.

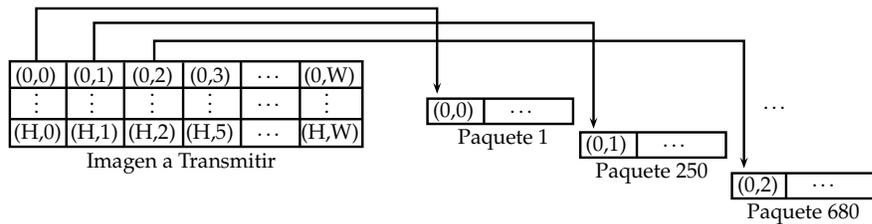


Figura 2.1: Paquetización utilizando principio básico de entrelazamiento

A modo de ejemplo, y con el fin de explicar el proceso de transmisión de imágenes utilizando entrelazamiento y realizar una comparación preliminar con el envío secuencial, se ilustran las diferentes etapas por las que pasa una imagen no comprimida (Figura 2.2a) desde la captura hasta la recepción. De este modo, se considera el envío de una imagen a un

nodo colector a través de una red de sensores inalámbricos, aplicando en primer lugar, un algoritmo de entrelazamiento y luego transmisión secuencial, empleando para tal efecto el simulador de WWSN's Sim-LIT (Orellana-Romero et al., 2011). Una vez finalizado el proceso, en las Figuras 2.2 y 2.3 se muestran un conjunto de imágenes que son recuperadas durante la simulación. Puesto que la transmisión de datos en este tipo de redes se realiza en ambientes propensos a pérdidas, sobre canales sin retransmisión, se utiliza en la simulación un patrón de pérdidas real con un 62% de paquetes perdidos. Así, previo al envío de datos, aplicando algún algoritmo de mezclado, se tiene como resultado una imagen similar a la mostrada en la Figura 2.2b, la que al ser transmitida a través de la red, es recuperada en el lado del receptor como la imagen mostrada en la Figura 2.2c. El patrón de pérdidas que la afecta puede variar según la condición en la que se encuentre el canal utilizado. En la Figura, espacios en blanco representan píxeles perdidos durante la transmisión, característica extensible a cualquier imagen extraída del proceso de simulación (posterior al envío). Una vez concluida la recepción de datos, al reordenar la imagen recibida a través de la técnica inversa a la de mezclado, se obtiene como resultado la Figura 2.2d, para el caso particular del patrón de entrelazamiento y de pérdidas aplicado. En este punto es importante recalcar que, puesto que los píxeles adyacentes son almacenados en paquetes diferentes, al momento de reorganizarlos, las pérdidas son “distribuidas” a lo largo de la imagen, permitiendo aplicar algoritmos de ocultamiento de errores de manera más efectiva, tales como el promedio de los píxeles vecinos existentes, logrando mejorar la calidad de la imagen recepcionada y obteniendo imágenes como la mostrada en e de la Figura 2.2.

Por otro lado, enviando la imagen sin preprocesamiento bajo iguales condiciones, los datos son transmitidos secuencialmente (en orden), recepcionándose imágenes como la mostrada en la Figura 2.3b. Cabe notar que, en este ejemplo, el patrón de pérdidas que afecta a las imágenes recuperadas al utilizar entrelazamiento o transmitir secuencialmente, es idéntico, diferenciándose la ubicación de los píxeles perdidos al reordenar la imagen entrelazada. Luego, aplicando el mismo algoritmo de ocultamiento de errores anterior sobre la imagen 2.3b, se obtiene la imagen mostrada en la subfigura c de la Figura 2.3. En cuanto a las imágenes finales, luego de la transmisión aplicando ambos métodos, 2.2e para entrelazamiento y 2.3c para transmisión secuencial, puede observarse a simple vista que, en este caso particular, se obtiene mayor calidad al preprocesar. Este hecho puede explicarse ya que al comparar las imágenes que son reconstruidas en ambos métodos (encerradas en un cuadro), producto de la “distribución” de las pérdidas en la Figura 2.2d, esta última tiene más información dis-

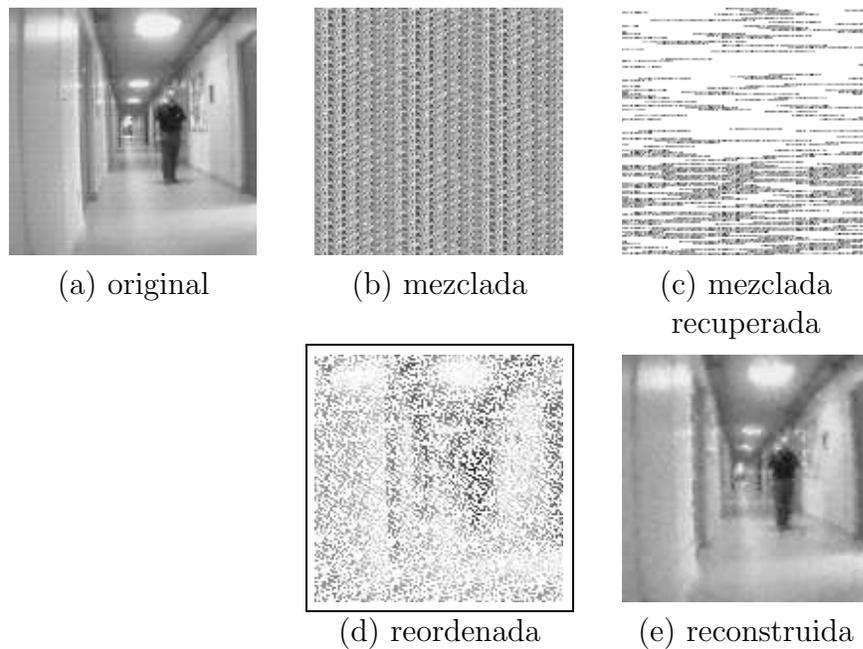


Figura 2.2: Transmisión de imágenes sobre WWSN utilizando entrelazamiento

ponible en torno a un píxel faltante para reconstruirlo. Este comportamiento es el esperado para métodos de entrelazamiento, contando con imágenes de calidad aceptable y superior a la transmisión secuencial al finalizar el proceso, utilizando una cantidad similar de energía. De este modo, un algoritmo de entrelazamiento de píxeles en imágenes digitales debe entregar un método sencillo y económico de implementar para el mezclado y ordenamiento posterior al envío, garantizando que sus resultados son mejores a los obtenidos a través de transmisión secuencial.

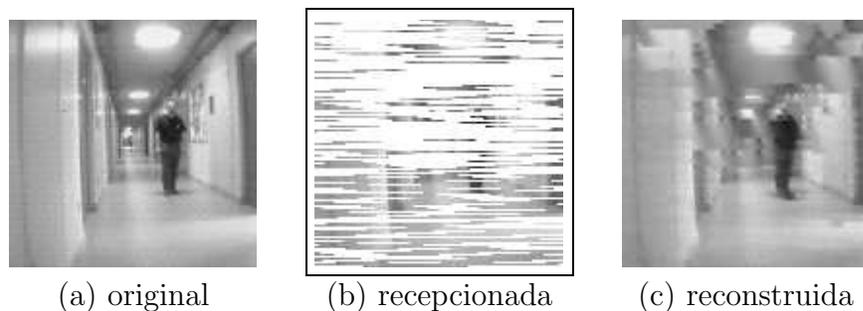


Figura 2.3: Transmisión secuencial de imágenes sobre WWSN

A continuación, se describen diferentes algoritmos de entrelazamiento de píxeles de imágenes digitales encontrados en la bibliografía, exponiendo sus principios de funcionamiento y parámetros asociados cuando corresponda.

2.1. Método de entrelazamiento de Turner and Peterson

Turner and Peterson (1992) trabajan en la transmisión satelital de imágenes digitales, puesto que, producto de las limitantes en la captura y envío de los datos, debido a las dimensiones de estas, aplicar técnicas tradicionales de envío de imágenes no resultaría la mejor opción. Considerando esto, los autores proponen eliminar la retransmisión de datos, aplicando una técnica de entrelazamiento de píxeles, asegurando calidad en la imagen recepcionada a través de la reconstrucción de los datos faltantes. De este modo, el objetivo apunta a reducir la latencia¹ durante la transmisión al enviar sólo una vez cada paquete, y disminuir la cantidad de memoria utilizada al no ser necesario mantener un buffer con datos (en caso de retransmisión). Sin embargo, la supresión de la retransmisión provoca píxeles faltantes (perdidos) en la imagen recuperada debido a los errores de envío, reduciendo su calidad.

Considerando lo anterior, y puesto que la técnica propuesta busca ser aplicable en diferentes plataformas (con anchos de banda variados), se implementa compresión de la imagen y se genera un protocolo que permita el procesamiento individual de cada paquete recibido², permitiendo el extravío de ellos durante el proceso, puesto que son independientes entre sí. Con respecto a la compresión, los autores establecen que su utilización depende del ancho de banda disponible en la red, cantidad de datos a transmitir, y de la capacidad de cómputo disponible en el nodo fuente.

Producto de lo anterior, y considerando las características de las WSN, el algoritmo de compresión propuesto por Turner and Peterson no es considerado en el presente trabajo³, ya que a pesar de poseer un ancho de banda limitado en WSN y gran cantidad de datos a

¹En una red con un ancho de banda de 1 *Gbps* es posible enviar una imagen de 10 *Mbyte* en 100 *ms*. Si es necesario retransmitir **un** paquete perdido la latencia aumenta en 100 *ms*.

²Cada paquete transmitido posee suficiente información para determinar su correcta ubicación en la imagen ordenada.

³Algoritmos tradicionales de compresión sin pérdidas logran una reducción máxima de 2:1, mientras que los que toleran pérdidas alcanzan fácilmente tasas superiores a 5:1, pero con un alto requerimiento de cómputo.

trasmitir, el poder de cómputo, memoria y la energía disponible en cada nodo son extremadamente limitados. No obstante, es posible implementar alguno que respete las limitantes de redes de sensores inalámbricos siempre y cuando utilice bloques independientes. Cabe destacar que, puesto que el método propuesto por Turner and Peterson considera la posterior compresión, los píxeles de la imagen no son redistribuidos de forma aleatoria, pues hacerlo significa reducir la redundancia en los datos adyacentes, por lo que es afectada la eficiencia de la compresión. Así, el algoritmo de codificación consiste en modificar las posiciones espaciales originales de cada píxel a través de dos parámetros. El primero, `byteOffset`, especifica la distancia “lineal” que debe existir entre píxeles adyacentes (en la imagen original) al interior de un mismo paquete, es decir, especifica la cantidad de píxeles no incluidos entre dos agregados a un paquete. El segundo parámetro, llamado `packetOffset` indica la distancia (en píxeles) entre los primeros elementos de dos paquetes adyacentes, comenzando a generarse el próximo luego de `packetOffset` píxeles a contar del primer elemento del paquete anterior, contrarestando los efectos causados por la pérdida de paquetes en ráfaga⁴.

Dadas las características del método de mezclado propuesto por Turner and Peterson, resulta adecuada su utilización para la transferencia de imágenes sobre WSN, ya que cumple con los principios del mezclado de píxeles y evita la retransmisión de datos, característica deseada en este tipo de redes. Además, es preciso notar que el proceso de mezcla está diseñado para efectuarse durante la paquetización, ya que depende directamente de la cantidad de elementos que se incluyan en cada paquete. Así, para imágenes $I(H \times W)$, $I = \{p_0, p_1, \dots, p_{H*W-1}\}$, donde p corresponde a los píxeles de I , el i -ésimo paquete P_i , tal que $i \geq 0$, contiene m (payload) elementos, siendo $P_i = \{p_j, p_{j+ByteOffset}, p_{j+2*ByteOffset}, \dots, p_{j+(m-1)*ByteOffset}\}$, con $j = i * PacketOffset$.

2.2. Método de entrelazamiento DSJ-AL

Debido al aumento en las transacciones de material multimedia a través de redes de alta velocidad al comenzar la década del noventa, Posnak et al. (1994) proponen un protocolo (Dual Stream JPEG, DSJ) de transporte que permita la transferencia de vídeos *sin necesidad de retransmisión de datos*, generando un mecanismo de protección de errores a partir de la redundancia inherente de las imágenes que los componen para asegurar la calidad del

⁴Al generarse pérdidas durante un período de tiempo, pueden perderse muchos paquetes consecutivos, extraviando amplias zonas en la imagen receptionada (utilizando transmisión secuencial).

servicio (QoS). Así, DSJ transforma cada imagen (frame) al plano frecuencial a través de la DCT (Discrete Cosine Transform), obteniendo las frecuencias asociadas a cada bloque de 8×8 de la misma. Posterior a esto, y considerando que el ojo humano es más perceptible a las generalidades de una imagen, las componentes DC de cada bloque son paquetizadas y enviadas con alta prioridad. En contra parte, dado que las componentes de mayor frecuencia están relacionadas con los detalles de la imagen (en mayor o menor medida), las componentes AC de cada bloque son agrupadas en forma de zig-zag, comprimiéndolas y paquetizándolas para ser transmitidas con baja prioridad. De este modo, y puesto que los datos con alta prioridad aseguran una calidad aceptable en las imágenes recepcionadas, en caso de existir congestión en los canales de comunicación son desechados paquetes de baja prioridad en favor de los que transportan elementos DC. Debido a esto, las componentes AC son susceptibles a pérdidas, por lo que como una forma de minimizar la reducción de calidad Posnak *et al.* implementan el método de entrelazamiento de bloques Dual Stream JPEG Adaptation Layer (DSJ-AL) el que, al aleatorizar estos coeficientes, posibilita que las pérdidas generadas sean aisladas para cada bloque, permitiendo su recuperación mediante técnicas de ocultamiento de errores. Así, para una imagen de dimensiones $NROW \times NCOL$ y denominando al píxel (o bloque) actualmente procesado (x_i, y_i) y al siguiente (x_{i+1}, y_{i+1}) , dos bloques adyacentes en la imagen original son separados espacialmente mediante el parámetro **step**, utilizando las ecuaciones 2.2 y 2.1 para obtener una nueva ubicación para el próximo bloque a partir de la posición del actual, alejándolos **step** bloques entre sí.

$$y_{i+1} = (y_i + \text{step}) \quad \text{mód } NCOL \quad (2.1)$$

$$x_{i+1} = x_i + \left(\frac{y_i + \text{step}}{NCOL} \right) \quad (2.2)$$

Para la correcta generación de nuevas posiciones, Posnak et al. (1994) especifican que una vez superada la cantidad máxima de filas por x_{i+1} el próximo píxel en ser asignado será el siguiente al primero del ciclo actual. Es decir, suponiendo que la primera coordenada generada es $(0, 0)$ para una imagen de 32 filas, una vez que x_{i+1} supera esta cantidad, la coordenada generada para el próximo píxel debe ser $(0, 1)$.

Un ejemplo al utilizar este método para una imagen ordenada de dimensión $NROW = NCOL = 12$, **step** = 9, $x(0) = 0$ e $y(0) = 0$, entrega como resultado la reubicación del segundo

bloque en la posición (0, 9), el tercero en (1, 6), el cuarto en (2, 3), el quinto en (3, 0), el sexto en (3, 9), etc. (Posnak et al., 1994, Figura 2), reasignando cada bloque con un offset de `step` bloques a contar desde el anteriormente generado.

Dadas las características expuestas, es posible adoptar el método DSJ-AL para ser implementado como una técnica de entrelazamiento de píxeles (bloques) sobre imágenes transmitidas en WSN's.

2.3. Métodos de entrelazamiento de DeBrunner *et al.*

DeBrunner et al. (1999) proponen 4 métodos de entrelazamiento de píxeles con el fin de reducir la pérdida de calidad en las imágenes recepcionadas. El principio de estos algoritmos consiste en enviar en paquetes diferentes píxeles adyacentes (se disminuye la redundancia de los datos), para luego comprimir utilizando JPEG y transmitir. Estas técnicas agregan robustez al envío, puesto que pueden generarse pérdidas de datos, aumentando la probabilidad de recibir de forma correcta los píxeles adyacentes al faltante, obteniendo una imagen aproximada a la original mediante interpolación. Dadas sus características, estos métodos son denominados *horizontal*, *vertical*, *horizontal/vertical* y *dinámico*, siendo el *horizontal* y el *vertical* las bases para generar los dos últimos. De forma más detallada, el mezclado *horizontal* consiste en almacenar en paquetes diferentes las filas adyacentes de la matriz de píxeles con el fin de disminuir la probabilidad de perder dos filas consecutivas, pudiendo recuperar la faltante utilizando los píxeles disponibles en las filas vecinas. Análogamente, el mezclado *vertical* utiliza el mismo principio, pero sobre las columnas de la imagen, paquetizando intercaladamente columnas adyacentes. Empleando ambos métodos se obtiene el mezclado *horizontal/vertical*, almacenando en paquetes diferentes los cuatro píxeles adyacentes de una vecindad, pudiendo recuperar un píxel faltante utilizando todos los píxeles disponibles a su alrededor. Durante el análisis de estos métodos, DeBrunner *et al.* mencionan que el mezclado *horizontal* presenta buenos resultados (calidad de la imagen recepcionada) en imágenes con bordes verticales preponderantes, el método *vertical* en imágenes con bordes horizontales, y en imágenes indefinidas, el método *horizontal/vertical*. Producto de esta observación, los autores proponen el método *dinámico*, el que agrupa bloques de 16×16 píxeles, calculando y comparando los bordes en su interior. De esta forma, dependiendo de la orientación de los bordes dominantes se utiliza la técnica *horizontal* o *vertical*, mejorando la calidad de la imagen resultante.

Para aplicar estos métodos a los objetivos de este trabajo se utilizan las técnicas de mezclado propuestos, utilizándolas en imágenes sin compresión o comprimiendo mediante algún algoritmo que emplee bloques independientes. Según las conclusiones y resultados mostrados por los autores, el método que entrega los mejores resultados es el *dinámico*, sin embargo, su utilización en transmisión sobre redes de sensores inalámbricos debe estudiarse puesto que los algoritmo de detección de orientación de bordes suponen costos energéticos que podrían llevar a los dispositivos a agotar su reserva rápidamente⁵.

Si bien los métodos propuestos por DeBrunner *et al.* presentan una buena alternativa de mejoramiento de la robustez a pérdidas de datos durante la transmisión, los autores no especifican procedimientos para su implementación. Además, las imágenes resultantes observadas en el paper sugieren payloads de paquetes de gran tamaño, lo que no es siempre deseable en WWSN. Por lo anterior, a lo largo de este trabajo, se han desarrollado diferentes variantes que cumplen con los principios expuestos. Una de ellas, para el método *horizontal* consiste en reordenar el bitmap de la imagen original agrupando en un nuevo bitmap las filas pares y luego las impares de modo que al paquetizar de forma secuencial la nueva matriz estas sean enviadas en paquetes diferentes. De igual forma, para el método *vertical*, se agrupan las columnas pares al comienzo de la imagen y las impares al final, escribiéndolas como filas en un nuevo bitmap de modo que, al paquetizarlas secuencialmente, las columnas adyacentes son enviadas en paquetes diferentes. Siguiendo el mismo principio, el método *horizontal/vertical* aplica ambas técnicas simultáneamente, agrupando en un nuevo bitmap filas y columnas intercaladas de la imagen original, de modo que al paquetizarlo secuencialmente son enviados en paquetes diferentes los cuatro píxeles adyacentes de una vecindad. Un ejemplo del funcionamiento de la primera variante de los métodos se muestra en la Figura 2.4. Considerando una imagen a transmitir de dimensiones 8×8 se tiene una matriz como la mostrada en *Matriz Imagen Original* de la Figura. Esta matriz no representa el contenido de los píxeles, sino que, con el fin de ilustrar el reposicionamiento de ellos al aplicar algún método de mezclado, muestra la posición de cada uno en la matriz asociada a la imagen. Así, en la matriz *Mezclado Horizontal* se muestra como se agrupan las filas pares en la sección superior de la imagen y las impares en la inferior. En flechas discontinuas se observa la reubicación de las primeras dos filas pares de la imagen original, secuencia que continúa hasta completar

⁵Recorrer el bitmap de la imagen utilizando una matriz para filtrar es un proceso costoso. Sobel, por ejemplo, debe aplicar un filtro horizontal, uno vertical, y luego calcular la dirección del borde mediante una función trigonométrica.

el alto de la imagen. Una vez agrupadas las filas pares, de igual manera que en el proceso anterior, se procede con las impares. En cuanto al método *vertical*, el bitmap generado producto de su aplicación sobre la *Matriz Imagen Original* es presentado en la matriz *Mezclado Vertical*, mostrando las columnas pares en la primera mitad de la imagen y las impares en la segunda. Con el fin de utilizar el mismo método de paquetizado, las columnas reagrupadas son almacenadas como filas en la matriz mezclada. En flechas discontinuas se muestra la reubicación de las dos primeras columnas pares, agrupándolas en la sección superior de la nueva matriz. Este proceso continua hasta alcanzar el ancho de la imagen, luego de esto se reagrupan las columnas impares de igual forma. El método *horizontal/vertical* utiliza ambos principios, aplicándolos simultáneamente. En la matriz *Matriz Imagen Original* se muestran en negrita los píxeles reubicados en la primera fila de la matriz *Mezclado Horizontal y Vertical*. Así, se reubican los píxeles originales considerando las filas y columnas pares en el primer cuarto de la matriz reordenada, las filas impares y columnas pares en el segundo, las filas pares y columnas impares en el tercero, y por último, en el cuarto las filas impares y columnas impares. Suponiendo que la longitud de los paquetes a transmitir es igual a una fila, en las matrices mezcladas se demarcan con un rectángulo las filas 1 y 3 con el fin de mostrar que estas corresponden a la primera y tercera transmisión, respectivamente. Bajo esta suposición, cada fila transmitida es contenida en un paquete, por lo que en la matriz con *mezclado horizontal* se verifica que no se envían correlativamente filas adyacentes, en la matriz con *mezclado vertical*, que no se envían correlativamente columnas adyacentes, y en la matriz con *mezclado horizontal/vertical* que no se envían píxeles contenidos en una vecindad de 8 correlativamente. Cabe destacar que, puesto que los píxeles de las nuevas matrices se encuentran mezclados, son transmitidos de forma secuencial.

Un segundo modo de implementación consiste en generar un nuevo bitmap entrelazado, para lo cual, en vez de agrupar las filas y/o columnas según pares e impares, se evita que existan dos valores adyacentes en la nueva matriz modificando los índices de filas y/o columnas según una secuencia de reubicación de píxeles establecida. Dicha secuencia consiste en sumar al índice secuencial los sumandos 0, 1, 2, -2, -1 cíclicamente a lo largo de toda la matriz, como se muestra en el Cuadro 2.1. Así, en el caso del método *horizontal* se modifica el índice de las filas, en el método *vertical* el de las columnas y en el *horizontal/vertical* ambos. Cabe destacar que dichos sumandos tiene una frecuencia de 5 píxeles, por lo que si las dimensiones de la matriz no son múltiplos de esta, se sobrepasan las cotas de los índices generando errores. Para solucionar este problema, si se supera la cota superior del índice, se reemplaza el

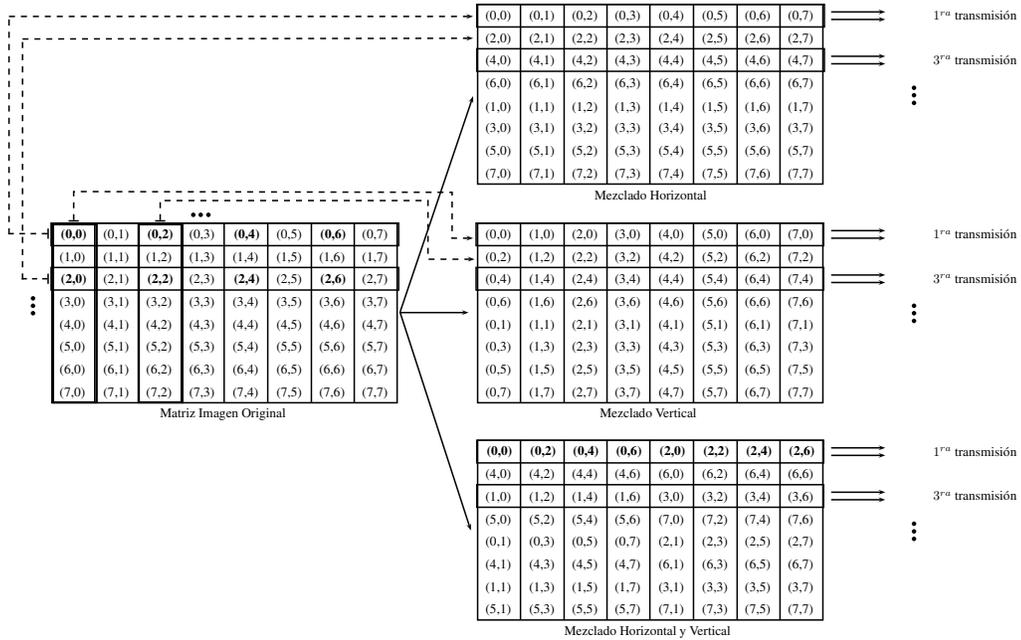


Figura 2.4: Ejemplo de métodos de mezclado de DeBrunner *et al.*, primera implementación

valor del sumando por el valor resultante de la expresión $-(((longitud - 1) \bmod 5) - 1)$, donde *longitud* puede tomar el valor del ancho o alto de la imagen dependiendo del método utilizado.

2.4. Método de entrelazamiento Torus Automorphisms

Los automorfismos torales (TA, Torus Automorphisms) son funciones basadas en toroides, Figura 2.5, aplicadas en (Chen et al., December 2003; Duran-Faundez and Lecuire, 2008) como técnica de permutación para implementar entrelazamiento de píxeles. En el trabajo de Duran-Faundez and Lecuire son utilizados, de forma particular, con la finalidad de transferir imágenes digitales en redes de sensores inalámbricos a través de canales propensos a pérdidas. De este modo, dada una imagen I de dimensiones $N \times N$ y $\{x, y \in \mathbb{N} / 0 \leq x < N \wedge 0 \leq y < N\}$, se asigna a cada píxel con coordenadas (x, y) una nueva posición (x', y') a través de la ecuación 2.3, generando una imagen desordenada I' de iguales dimensiones.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ k & k+1 \end{pmatrix}^n \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \bmod N \quad (2.3)$$

Cuadro 2.1: Secuencia de reordenamiento de DeBrunner *et al.*, segunda implementación

índice	sumando	índice mezclado
0	0	0
1	1	2
2	2	4
3	-2	1
4	-1	3
5	0	5
6	1	7
7	2	9
8	-2	6
9	-1	8
10	0	10
⋮	⋮	⋮

La aplicación de la ecuación 2.3 está dada por dos parámetros, $\{k, n \in \mathbb{N}\}$, permitiéndose generar diferentes tipos de entrelazamiento al variarlos. Algunas de las cualidades a destacar en este método son el carácter caótico de los resultados y la simplicidad en su ejecución (no incurriendo en gastos energéticos excesivos). En cuanto al reordenamiento de píxeles, se cuenta con la ecuación 2.4, la que, a partir de las posiciones entrelazadas, genera la ubicación original de los píxeles, dado que $\forall N \in \mathbb{N}, \exists n = T/I' = I$.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ k & k+1 \end{pmatrix}^{T-n} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} \pmod N \quad (2.4)$$

Se debe considerar que la cantidad de memoria necesaria para almacenar un segundo bitmap entrelazado, dadas las restricciones de los dispositivos utilizados, pueden hacer impracticable su utilización. Producto de esto, es recomendado utilizar un método que permita el entrelazamiento durante el proceso de paquetización, no siendo necesario el prealmacenamiento de los datos. Al utilizar TA como técnica de entrelazamiento, es posible aplicar la ecuación 2.3 para obtener la ubicación del píxel en la matriz original a partir de una posición en la matriz entrelazada. Así, se puede crear el bitmap entrelazado de forma secuencial, permitiendo paquetizar durante la mezcla. Este método es denominado **adapted interleaving**.

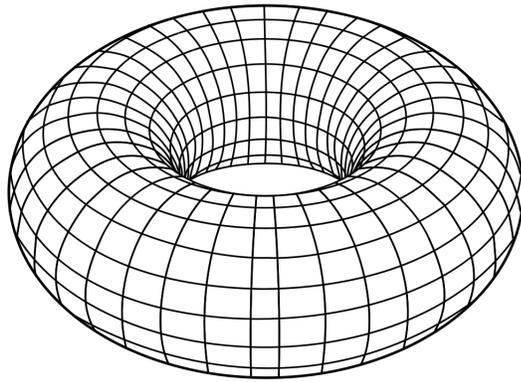


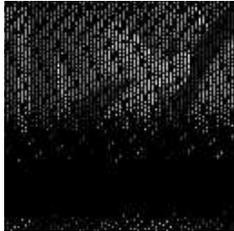
Figura 2.5: Gráfica de un toroide

Capítulo 3

Evaluación de métodos de entrelazamiento de bloques

Un importante tópico en este trabajo es la evaluación de los métodos de entrelazamiento de bloques, ya que, en la transmisión de imágenes a través de una WWSN se emplean estos algoritmos como táctica de robustez ante pérdidas, relacionándolos directamente a la calidad de la imagen resultante en el nodo colector. Específicamente, la problemática principal, consiste en la elección del algoritmo de entrelazamiento a utilizar y en la determinación de los valores a asignar a sus parámetros, de modo que la calidad final de la imagen enviada esté dentro de los rangos admisibles. A modo de ejemplo, considerando la transmisión de la imagen Lenna, el primer inconveniente encontrado es la elección del método de entrelazamiento, no contando con referencias para la discriminación entre uno u otro. Suponiendo que en este caso se utiliza el método de Turner and Peterson (1992) (nada asegura que sea el adecuado), se desconoce que parámetros entregan mejores resultados, dificultando su elección. En el Cuadro 3.1, es posible apreciar las imágenes resultantes para diferentes valores (aleatorios) de parámetros. Así, se muestra la relación existente entre el método elegido y los parámetros asignados. Basándose en las imágenes resultantes, se ratifica que una mala elección en los parámetros puede generar imágenes deficientes, como el caso de $ByteOffset = 3$, $PacketOffset = 4$, en el que a simple vista se observa un gran número de datos defectuosos producto del entrelazamiento. Igual resultado, pero en menor medida, se aprecia para $ByteOffset = 10$ y $PacketOffset = 456$, y para $ByteOffset = 100$ y $PacketOffset = 54$, donde, a pesar de apreciarse gráficamente a Lenna, existe una gran cantidad de datos corruptos, los que provocan una imagen inutilizable. Además, se debe notar la cantidad de combinaciones que es posible generar con dos parámetros, pudiendo alcanzar fácilmente varios miles, el ejemplo más

Cuadro 3.1: Transmisión imagen Lenna sobre WWSN, método de Turner and Peterson (1992), parámetros aleatorios

Imagen Resultante				
ByteOffset	3	10	100	125
PacketOffset	4	456	54	3375

claro es la última imagen resultante, la que para $ByteOffset = 125$ y $PacketOffset = 3375$ genera un resultado aceptable.

Producto de lo anterior, se hace necesario el estudio de los métodos de entrelazamiento mostrados en este trabajo, reconociendo cual es su comportamiento para diferentes imágenes y patrones de pérdidas de datos, con el fin de contar con referencias de las ventajas y desventajas de cada uno al momento de decidir cuál utilizar. De este modo, se realizan diferentes experimentos para determinar el comportamiento de cada técnica, utilizando simulaciones, puesto que, realizarlos en una plataforma real resulta muy costoso en tiempo. Así, es utilizado el framework de simulación Sim-LIT.

3.1. Simulador Sim-LIT

Sim-LIT (Orellana-Romero et al., 2011) es un framework de simulación orientado al análisis de imágenes transmitidas sobre redes de sensores inalámbricos mediante canales propensos a pérdidas. El desarrollo de este simulador es resultado del proyecto interno de la Universidad del Bío Bío 104610 3/RS: ‘‘Block interleaving algorithms for robust image transmission over wireless sensor networks’’, justificándose su diseño, ya que no se obtuvieron antecedentes de algún software de similares características que permitiese dicho tipo de estudios.

El principal objetivo de Sim-LIT es convertirse en una herramienta adecuada para la evaluación de métodos de robustez ante pérdidas de datos durante la transferencia de imágenes

en WWSN, utilizándose, particularmente en esta versión, el entrelazamiento de bloques. Para ello, es posible la realización de simulaciones sobre extensos set de imágenes y patrones de pérdidas, generándose resultados gráficos, intermedios y finales, e informes referentes a la calidad final alcanzada. Estos dos tipos de resultados permiten evaluar que tan cercana a la original es la calidad de la imagen resultante luego de ser transmitida utilizando algún método de robustez, ciertos parámetros y un patrón de pérdidas definido, recordando que siempre se generan imperfecciones producto de las características inherentes a este tipo de redes. Así, es posible su estudio de manera cualitativa; utilizando las imágenes resultantes; y cuantitativa; a través de los informes generados.

El modelo de simulación adoptado es simple. De este modo, se tiene una imagen de entrada I como una matriz de dimensiones $H \times W$, $I = \{I(x, y)\}$, con $x, y \in \mathbb{N} \wedge 0 \leq x < H \wedge 0 \leq y < W$. Cada píxel $I(x, y)$ es codificado a través de b bits por píxel (bpp), $b \in \mathbb{N}$. Cabe destacar que, en esta versión de Sim-LIT, se asume una imagen entrante monocromática no comprimida (.bmp), con $b = 8$ bpp , generándose imágenes en el mismo formato como resultados. Como esquema de comunicación se considera $\overleftrightarrow{\Gamma}$, donde se transmiten $q = \lceil \frac{H \times W \times b}{m} \rceil$ paquetes P , con m el número de bytes disponibles en cada paquete. Cada paquete tiene, además, una probabilidad p_l de perderse durante la transmisión.

En cuanto al funcionamiento de Sim-LIT, éste puede resumirse en las etapas mostradas en la Figura 3.1, las que son detalladas a continuación:

- **Preprocesamiento:** En esta etapa se ejecuta el algoritmo de entrelazamiento sobre la imagen original, obteniendo un bitmap mezclado según la técnica utilizada. Como requisito previo es necesario setear los parámetros pertinentes al método utilizado.
- **Paquetización:** En esta etapa se simula el empaquetado de los píxeles reagrupados según el proceso anterior. Para tal efecto, son asociados payload píxeles a un mismo paquete, considerando, a partir de este punto, a cada uno como la unidad mínima. Como requisito previo debe haberse seteado el payload o longitud de los paquetes a generar.
- **Simulación de pérdida de paquetes:** En esta etapa se simula la pérdida de paquetes producto de las condiciones físicas de la red. Existen dos formas de generarlas, de manera aleatoria, o a través de ficheros de entrada que contienen patrones de pérdidas, permitiendo, con esta última opción, rehacer los mismos experimentos. Al finalizar este

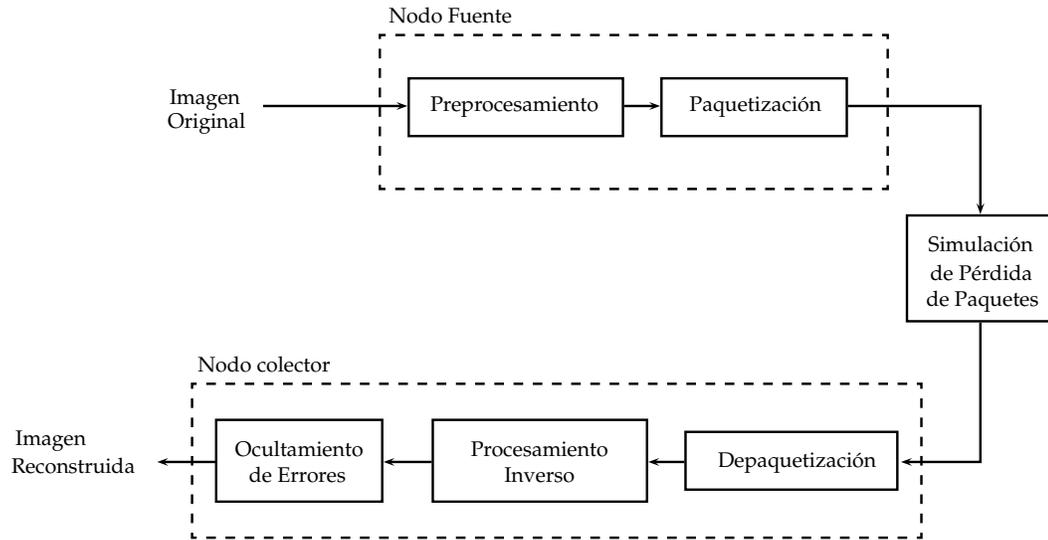


Figura 3.1: Esquema de simulación de Sim-LIT

proceso se obtiene una imagen con el bitmap entrelazado, pero con paquetes faltantes, los que son representados en color blanco.

A partir de este punto se comienzan a realizar los procesos inversos a los antes listados, ya que son parte del nodo colector de información, teniendo como objetivo la recuperación de la imagen transmitida.

- **Depaquetización:** En esta etapa se desagrupan los paquetes recibidos, reconstruyendo el bitmap enviado, pero considerando las pérdidas generadas. Luego de este proceso se observa la imagen entrelazada, pero con píxeles faltantes. Como requisito es necesario conocer el payload de los paquetes.
- **Procesamiento inverso:** Esta etapa reordena la imagen mezclada, utilizando para ello el algoritmo inverso al aplicado en la fase de **preprocesamiento**, siendo necesario conocer los valores de los parámetros con los que se genera el bitmap mezclado. Una vez finalizado este proceso se obtiene el bitmap ordenado, pero con píxeles faltantes.
- **Ocultamiento de errores:** En esta etapa se ejecutan algoritmos de interpolación con el fin de asignar algún valor (lo más cercano al original) a los píxeles faltantes. Luego de esta etapa se obtiene la imagen recuperada, finalizando el proceso de transmisión. En esta versión de Sim-LIT se utiliza el promedio de los vecinos existentes.

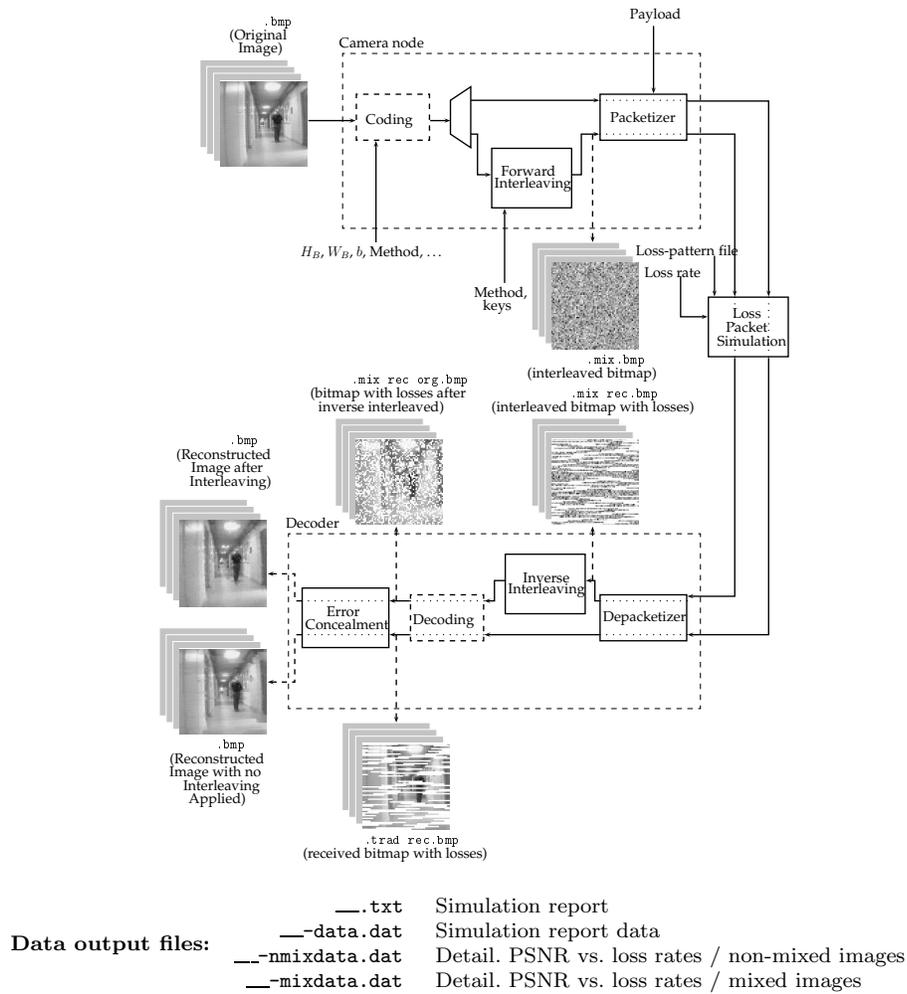


Figura 3.2: Funcionamiento de Sim-LIT, con, y sin, entrelazamiento de imágenes

En la Figura 3.2 se muestran las etapas anteriormente explicadas, especificando los archivos de entrada y de salida de cada una, además de la interacción entre ellas. A modo de ejemplo se muestra el proceso de simulación típico, el que consta de dos procesos. El primero de ellos consiste en la transferencia de una (o más) imagen utilizando algún método de entrelazamiento. El segundo, consiste en el envío sin utilizar técnicas de robustez, pudiendo ser llamada transmisión “tradicional”. Estos dos son independientes entre sí, teniendo por objetivo la comparación de los resultados obtenidos mediante entrelazamiento y sin él. Así, en cada fase es posible observar ejemplos de las imágenes intermedias, especificando la extensión utilizada para diferenciarlas. Una vez finalizados ambos procesos, son generados los archivos de salida listados en la Figura, obteniendo ficheros con información de la calidad

Cuadro 3.2: Principales opciones de Sim-LIT

Opciones	Descripción
-adapted-interleaving	Opción para usar adapted interleaving
-b	Bits por píxel (default: 8)
-hb	Alto de bloques (default 1)
-help	Ver menú de ayuda
-ipath	Define ruta de trabajo (default: ./images/)
-loss-file	Define archivo de pérdidas (default: ./loss-file.in)
-loss-path	Para simulación con múltiples patrones de pérdidas Define la ruta de los archivos (default: ./loss-patterns/)
-no-console-messages	No imprime mensajes en consola
-simulation-rep-file	Genera ficheros de resultados detallados y para cómputo
-no-res-img-store	No almacena imágenes resultantes
-no-res-int-img-store	No almacena imágenes resultantes intermedias, solo finales
-s	Número de bits disponibles para cada paquete (default: 216)
-wb	Ancho de bloques (default: 1)

de las imágenes resultantes (con, y sin, entrelazamiento), y con datos destinados a graficar (PSNR v/s LossRate), permitiendo un mejor análisis de las simulaciones.

En cuanto a la interacción del usuario con el framework, se utiliza la interfaz por líneas de comandos, permitiendo el diseño de scripts para mayor flexibilidad. De esta forma, un ejemplo típico es el mostrado a continuación.

```
$ ./simlit -ipath ~/Desktop/sample/ -csf results_lossfile -s 27 -hb 2 -wb 2
-b 3 -loss-file ~/Desktop/sample/loss-file_40_1.in -torus-mixer 1 8
-adapted-interleaving -simulation-rep-file -data-graphic
```

Algunas de las principales opciones disponibles por Sim-LIT se listan en el Cuadro 3.2.

3.2. Establecimiento de cotas

En tópicos anteriores se ha presentado como método de robustez para la transmisión de imágenes sobre WWSN's el entrelazamiento de píxeles, sin embargo, producto del desconocimiento de sus comportamientos surgen problemáticas al utilizarlos ya que no se cuenta con la información necesaria para discriminar entre ellos o para la selección de parámetros

que permitan obtener resultados de calidad. Dado esto, en la presente sección se estudia cada algoritmo, determinando su desempeño y evaluando los parámetros que entregan mejores resultados.

3.2.1. Alcances de las simulaciones

Las simulaciones realizadas consisten en la evaluación de calidad de las imágenes resultantes luego de ser transmitidas a través de una WWSN, utilizando diferentes métodos de entrelazamiento y no considerando gastos energéticos durante este proceso.

Cada simulación utiliza un método, evaluando la calidad de las imágenes resultantes para cada combinación posible de sus parámetros, dentro de un rango considerado válido. Dicho rango es particular para cada uno y es definido para la obtención de bitmaps entrelazados aplicables, y diferentes de otros generados a partir de cualquier otra combinación de parámetros en el rango.

Para evaluar condiciones próximas a la realidad, se utilizan patrones de pérdidas de datos obtenidos a partir de transmisiones físicas de imágenes sobre WSNs, capturando 122 patrones de transferencia diferentes y formando igual cantidad de ficheros con esta información, simulando con ellos condiciones reales del canal. Con el fin de facilitar la utilización en scripts de los archivos generados se utilizan números secuenciales para nombrarlos, denominándolos `lossfile_index.in`, donde *index* corresponde a al número que los identifica.

Para la obtención de resultados generales las simulaciones son realizadas sobre 44 imágenes (SIPI, 2014) (Anexo B) monocromática (8bpp), ejecutándose un proceso de simulación para cada una de ellas, para cada combinación de parámetros y para cada patrón de pérdidas, registrando la calidad de las imágenes finales. La dimensión de las imágenes empleadas es de 128×128 (longitud de 16384 píxeles), tamaño típico en WWSNs producto de las limitantes propias de la red.

3.2.2. Evaluación métodos de DeBrunner

Los métodos implementados por (DeBrunner et al., 1999) son los más sencillos de evaluar, ya que, no poseen parámetros. De este modo, las simulaciones se resumen en analizar la

calidad alcanzada por las 44 imágenes resultantes, en cada uno de los ambientes definidos por los 122 ficheros de pérdidas. En los gráficos mostrados en la Figura A.1 (Anexo A) se muestran algunos resultados del análisis explicado, es posible observar para diferentes imágenes las calidades obtenidas para las diferentes tasas de pérdida. Así, se visualiza que todos los métodos propuestos generan resultados muy semejantes a la transmisión secuencial, modificándose la calidad resultante sólo por la imagen utilizada. Es posible observar, además, que para ciertas tasas de pérdidas no entrelazar genera mejores resultados. Producto de esto, y considerando que utilizar algún método de mezcla aumenta los gastos energéticos en el nodo de origen, emplear alguna de estas técnicas no permite mejorar la calidad de las imágenes finales, por lo que su uso no es justificable.

3.2.3. Evaluación método DSJ-AL

Si bien DSJ-AL consta de sólo un parámetro, es necesario evaluar su funcionamiento para establecer el rango de validez de éste y conocer su dinámica de mezcla. Para esto, se estudia el método de entrelazado usando imágenes de diferentes dimensiones con el fin de reconocer comportamientos comunes. Para comenzar el análisis, en primer lugar se utiliza una imagen cualquiera con dimensiones 32×32 píxeles, entrelazando su bitmap para cada valor de parámetro en el rango $1 \leq step \leq 1100$, elegidos de forma arbitraria. Una vez concluido el entrelazamiento, se calcula la métrica PSNR entre la imagen entrelazada y la original, generando el gráfico mostrado en la Figura 3.3a. Cabe destacar que para la correcta representación de los valores obtenidos, particularmente, ya que es posible obtener PSNR's infinitos, en el caso en que la imagen resultante y la original sean idénticas, se define como valor máximo $PSNR = 30(dB)$.

El proceso mencionado tiene por objetivo la detección de valores de $step$ para los cuales la imagen entrelazada y la original sean idénticas. Observando los datos del gráfico mencionado, se verifica la existencia de gran cantidad de muestras con valor $PSNR = 30(dB)$ (infinito). Este comportamiento se genera al utilizar como parámetro del método los valores $step = 1$ y $step \geq 1024$ (notar que $step = 32 \times 32 = 1024$). Al contraponer estos resultados con el funcionamiento de DSJ-AL se aprecia coherencia en ellos, ya que, para $step = 1$ no existe offset en los píxeles, y para $step \geq 1024$ se genera una distancia entre píxeles mayor a la longitud total de la imagen, por lo que todos los píxeles son “reubicados” en igual orden al original en ambos casos. Cabe destacar que producto del tipo de mezcla los resultados para $step \leq 0$ no son válidos.

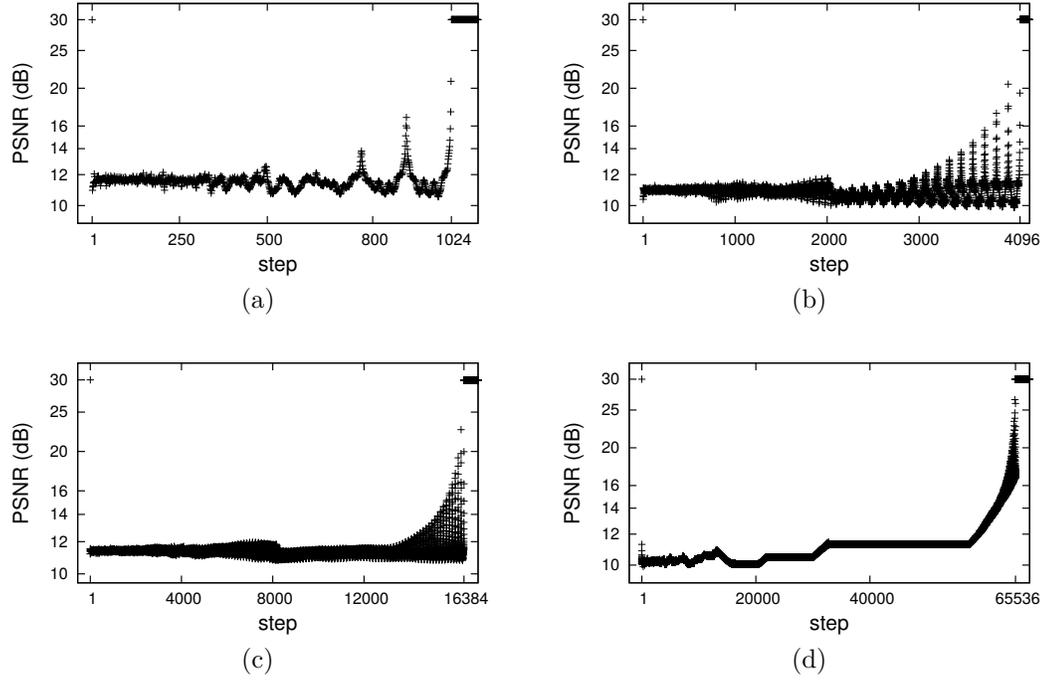


Figura 3.3: Gráficos de step v/s PSNR para imágenes de: (a): 32×32 , (b): 64×64 , (c): 128×128 y (d): 256×256 .

Realizando igual análisis para las dimensiones de imágenes restantes, pero utilizando los rangos $1 \leq step \leq 4200$ para 64×64 , $1 \leq step \leq 17000$ para 128×128 y $1 \leq step \leq 68000$ para 256×256 , son obtenidos los resultados mostrados en las gráficas del Cuadro 3.3. Así, el comportamiento detectado para imágenes de 32×32 es común con el resto de los casos, generándose imágenes no mezcladas para $step = 1$ y para $step \geq (N \times N)$. De esta forma, considerando los resultados expuestos y el funcionamiento de la técnica, se puede definir como rango de validez $1 < step < (N \times N)$, tal que $N \in \mathbb{N}$ y $N \times N$ son las dimensiones de la imagen entrelazada, obteniendo diferentes patrones de entrelazamiento para los valores de $step$ dentro de este.

3.2.4. Evaluación método Torus Automorphims

La utilización de este método puede generar ciertas complicaciones, ya que al poseer dos parámetros (k y n) a los que pueda ser asignado cualquier número entero positivo posibilita que la cantidad de combinaciones a generarse sea muy amplia, implicando que la determinación de un par de parámetros que genere buenos resultados no sea tarea sencilla. Sin embargo,

que esta técnica se base en toroides¹ hace suponer que los resultados se generen en ciclos, permitiendo acotar cada parámetro a un intervalo, y por ende, reducir la cantidad de combinaciones de parámetros válidas, ya que al seleccionar alguna fuera de este rango se obtendría igual resultado a su equivalente dentro de este. Un ejemplo es mostrado en Duran-Faundez and Lecuire (2008, Figura 2), donde seleccionando como parámetros $k = 1$ y $n = 96$, para imágenes de 128×128 , se obtiene la imagen reordenada. De esta forma, se espera que para $k = 1$, se generen diferentes patrones de mezcla al variar n desde 0 hasta 95, obteniendo todos los resultados posibles dentro este rango, y comenzando un nuevo ciclo, igual al anterior, a partir de $n = 96$. Generalizando, se espera que exista un valores de k , y un valor de n por cada k , que limite los resultados, acotando los valor de los parámetros y reduciendo la cantidad de elecciones posibles.

De esta forma, el método utilizado para definir cotas de k y n se basa en la ecuación matricial que implementa a Torus, Ecuación 2.3. En esta, es posible notar que las posiciones entrelazadas (x', y') son determinadas por la expresión 3.1, por lo que, al ser la matriz resultante igual a la identidad, se tiene $x' = x$ e $y' = y$, generándose una imagen idéntica a la original luego del entrelazado. Así, considerando esta observación, y sobre la base de la generación de resultados cíclicos, se evalúa esta expresión para un intervalo arbitrario de valores para los parámetros, no considerando $n = 0$ ya que en este caso la matriz de la expresión 3.1 siempre es igual a la identidad. Durante este proceso se almacena el primer valor de n para el que se obtenga la matriz identidad, T , por cada valor de k , obteniendo una lista de combinaciones de parámetros que permita acotar los valores posibles de estos.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ k & k + 1 \end{pmatrix}^n \quad \text{mód } N \quad (3.1)$$

En una primera instancia se lleva a cabo este planteamiento para imágenes de dimensión 128×128 píxeles, evaluando los parámetros para los rangos $0 \leq k \leq 300$ y $1 \leq n \leq 300$, generando el gráfico de la Figura 3.4 una vez finalizado el proceso. Al analizar este gráfico se observa un patrón definido para los valores de T al variar k , definiéndose según la expresión $T(k) = T(k + R \times 128)$, con $R \in \mathbb{N}$ y $0 \leq k \leq 128$. Es decir, la secuencia de valores de n que generan una imagen reordenada para diferentes k , se repiten cada 128 incrementos de este último parámetro. Esta característica muestra un comportamiento cíclico, obteniéndose

¹Esta característica es expuesta en Duran-Faundez and Lecuire (2008, Sección 3.1) y en la Sección 2.4 del presente trabajo (ver Figura 2.5)

iguales resultados de T en los intervalos $0 \leq k \leq 128$, $128 \leq k \leq 256$ y en $256 \leq k \leq 300$, salvo que en el rango final no se alcanzan a completar los datos. Dado esto, es posible establecer como cota para k el valor 128, en imágenes de 128×128 píxeles.

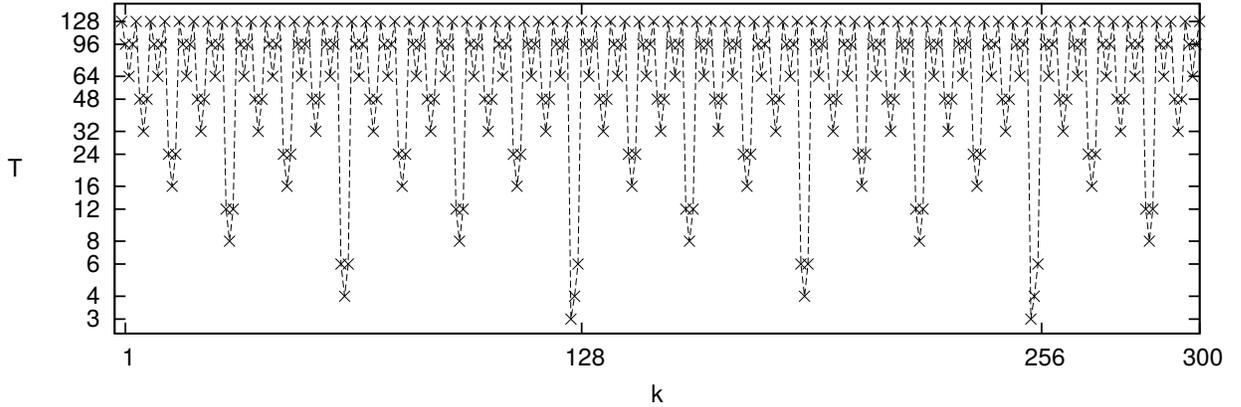


Figura 3.4: k v/s T . Parámetros fin de ciclos de mezcla en imágenes de 128×128 píxeles.

En cuanto al parámetro n , es posible observar que los valores para los que se reordena la imagen entrelazada (T) son discretos (3, 4, 6, 12, 8, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128) y tienen como cota máxima 128, de modo que, para cualquier valor de k , en imágenes de 128×128 , se obtiene la imagen reorganizada, a lo menos una vez, cuando $n = 128$. Para corroborar esta afirmación, y comprobar la naturaleza cíclica de n , se calculan los bitmap entrelazados de una imagen cualquiera, utilizando $0 \leq k \leq 128$ (producto de la observación anterior), y $0 \leq n \leq 300$, evaluando la métrica PSNR entre este y el bitmap original. El experimento propuesto busca identificar la obtención de la imagen reordenada al variar n , situación que se cumple al obtener infinito en la evaluación de calidad (bitmaps idénticos). De este modo, cada vez que la matriz entrelazada sea igual a la original, los valores infinito son limitados a 20 (dB) para permitir la observación gráfica de los resultados. En el Cuadro 3.5 es posible apreciar los gráficos de n v/s PSNR, para valores determinados de k , producto del ensayo anterior.

Así, son expuestos en la Figura 3.5 ocho gráficos que muestran el comportamiento de n para diferentes k . De forma general, es posible observar que en todos ellos se obtiene, a lo menos, una imagen reordenada al cumplirse $n = 128$. Además, se observa que en cada una de las gráficas se generan resultados cíclicos, con frecuencias diferentes dependiendo del valor de k . Dichos ciclos son generados, de forma particular, a partir de $n = 0$, y hasta T . Si se analizan estas gráficas en conjunto con los datos expuestos en la Figura 3.4, se verifica que

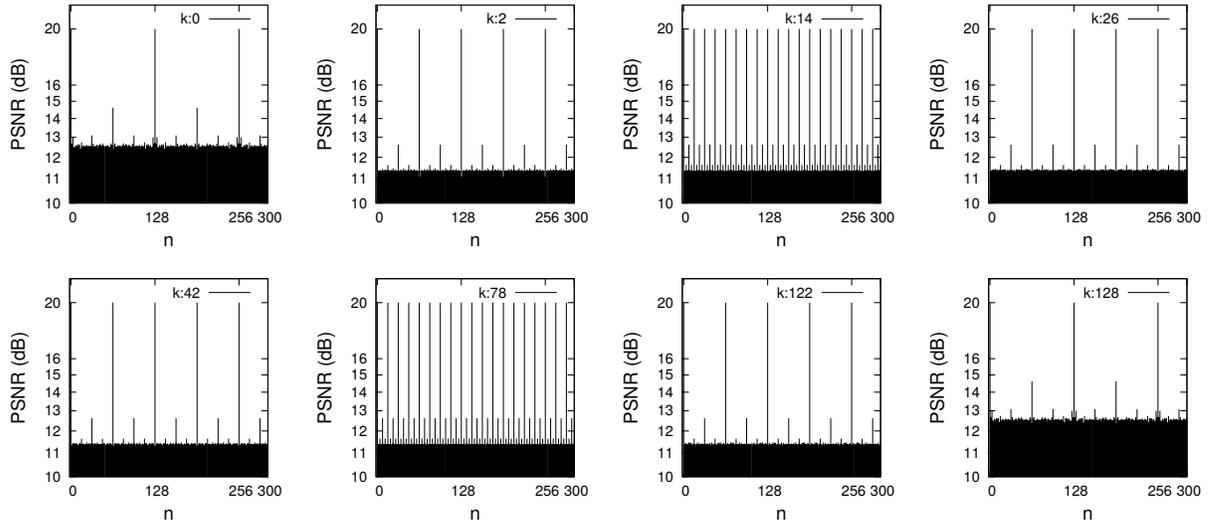
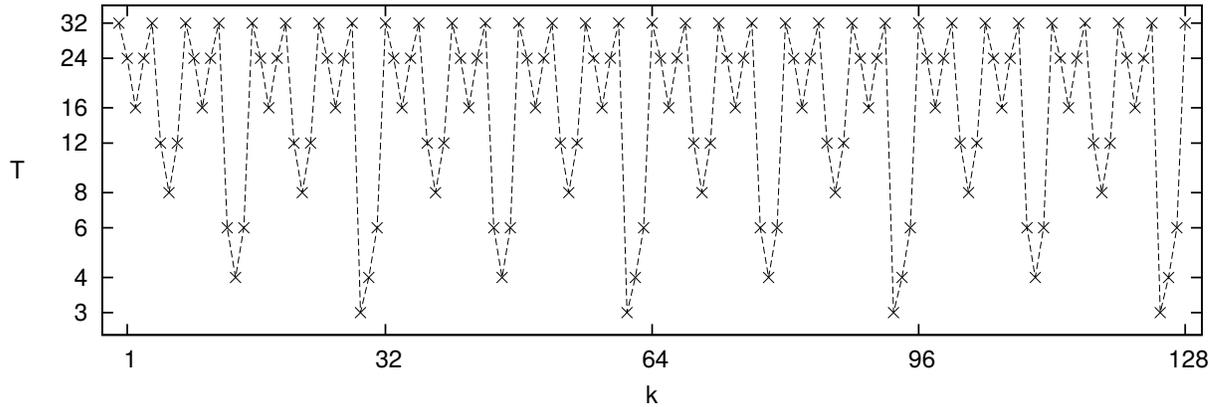


Figura 3.5: Gráficos de n v/s PSNR para diferentes valores de k , $N = 128$.

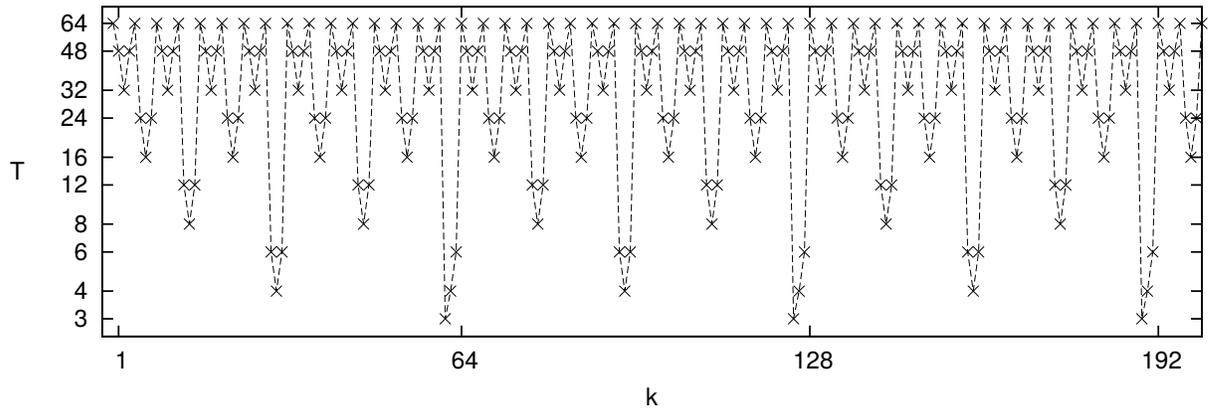
la primera matriz reordenada es obtenida en los valores T antes mencionados, dependiendo de k , y que son discretos. Esto queda reflejado al generarse iguales patrones de resultados en algunos de los gráficos, a pesar de haberse utilizado valores de k diferentes. A modo de ejemplo, el comportamiento mencionado es advertido en los experimentos realizados con k igual a 2, 26, 42 y 122, obteniéndose una frecuencia en los resultados de $n = 64$, para todos los casos. Cabe destacar que el resto de los datos obtenidos muestra resultados similares, variando el valor de T (determina la frecuencia de los resultados).

A modo de conclusión, se establece que para imágenes de dimensiones 128×128 los parámetros de Torus muestran una cierta frecuencia en los resultados obtenidos. De este modo, k genera ciclos de resultados cada 128 iteraciones. A su vez, T establece ciclos relativos al valor de k , pero con frecuencias discretas dentro del conjunto de valores $\{3, 4, 6, 12, 8, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128\}$, teniendo como cota superior 128. Así, producto de la relación observada en la frecuencia de k , en el valor de frecuencia máximo alcanzado por T , y en las dimensiones de las imágenes estudiadas ($N = 128$), se realiza el mismo análisis presentado para dimensiones de imágenes de 32×32 , 64×64 y 256×256 píxeles.

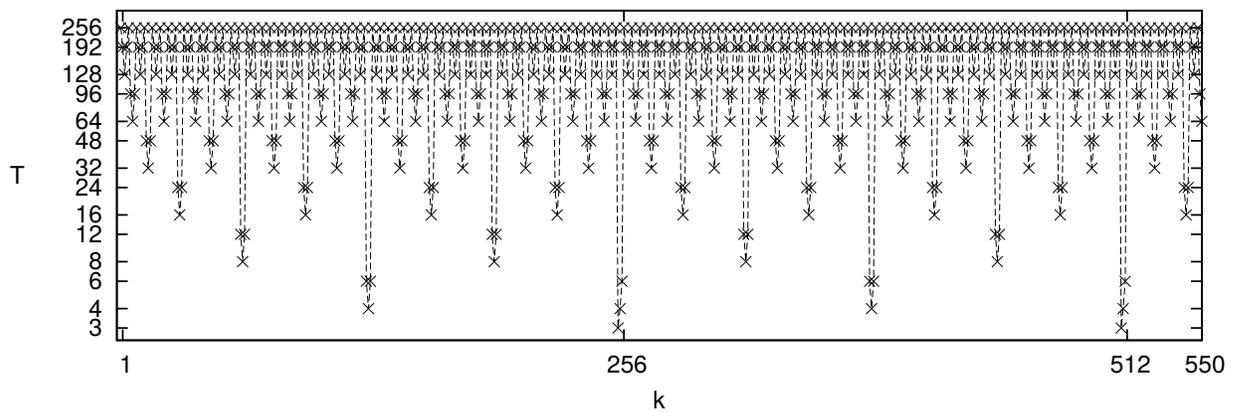
De igual forma que en el análisis para imágenes de 128×128 píxeles, en los gráficos de la Figura 3.6 es posible notar ciclos en los resultados, los que dependiendo de las dimensiones de la imagen a mezclar alcanzan diferentes frecuencias. Así, para imágenes de dimensiones



(a)



(b)



(c)

Figura 3.6: k v/s T . Parámetros fin de ciclos de mezcla en imágenes de: (a) 32×32 , (b): 64×64 y (c): 256×256 píxeles

32×32 píxeles (Figura 3.6a) el primer ciclo finaliza en $k = 32$, para 64×64 píxeles (Figura 3.6b) termina en $k = 64$, y para 256×256 píxeles (Figura 3.6c) en $k = 256$, siendo estas las frecuencias en cada caso. De este modo, es posible afirmar que para imágenes cuadradas, del tipo $N \times N$ con $N = 2^x / x \in \mathbb{N}$, se acota el rango de valores de k a $0 \leq k \leq N$. Además, se observa que el carácter discreto de T se mantiene, agregando, o eliminando, valores al conjunto de frecuencias, según N . Así, para $N = 32$, los valores alcanzados están en el conjunto $F_{32} = \{3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32\}$, para $N = 64$, $F_{64} = F_{32} \cup \{48, 64\}$, para $N = 128$ (Figura 3.4), $F_{128} = F_{64} \cup \{96, 128\}$ y para $N = 256$ están dados en el conjunto $F_{256} = F_{128} \cup \{192, 256\}$. Generalizando, para mezclas de imágenes con $N = 2^x / x \in \mathbb{N}$, el conjunto de frecuencias que puede tomar el parámetro T está acotado por $T = N$ y corresponde al conjunto $F_N = F_{N=2^{x-1}} \cup \{2^{x-1} + 2^{x-2}, N\} / x > 2$.

En la Figura 3.7 se muestran 16 gráficos de n v/s PSNR para diferentes valores de k y N . Así, la Figura 3.7a corresponde a $N = 32$, la 3.7b a $N = 64$ y la 3.7c a $N = 256$. Al observar los resultados obtenidos, es posible establecer un comportamiento similar al registrado para imágenes de dimensiones 128×128 píxeles, modificándose la cota superior de n , dependiendo de N . Así, se verifica el carácter ciclo de los resultados al variar n (manteniendo k fija) para imágenes de dimensiones $N \times N / N = 2^x \wedge x \in \mathbb{N}$.

Ya que se define como cota superior del parámetro n el valor N , pero, para diferentes valores de k las frecuencias alcanzadas están dentro del conjunto F_N , pudiendo ser menor a la cota máxima, en el Anexo D se entrega una tabla que define los valores de n máximos para cada k , y para diferentes valores de N .

3.2.5. Evaluación método de Turner and Peterson

Al igual que con los métodos anteriores, la técnica de entrelazamiento propuesta por Turner and Peterson (1992) debe ser evaluada para determinar su comportamiento, ya que, al poseer dos parámetros, `ByteOffset` y `PacketOffset`, y generar diferentes patrones de entrelazado para cada combinación, existe un gran número de opciones disponibles al utilizarlo, y por ende, se dificulta la elección de cual utilizar. Además de esto, este análisis se hace necesario ya que al realizar pruebas de mezcla, con parámetros arbitrarios, se detecta un fenómeno anormal, resultando imágenes como las mostradas en el Cuadro 3.1. Así, luego de analizarlas, se determina que para las tres primeras, producto del funcionamiento del algoritmo de entrelazado, se generan posiciones mezclada iguales para diferentes píxeles, sobrescribiéndolos,

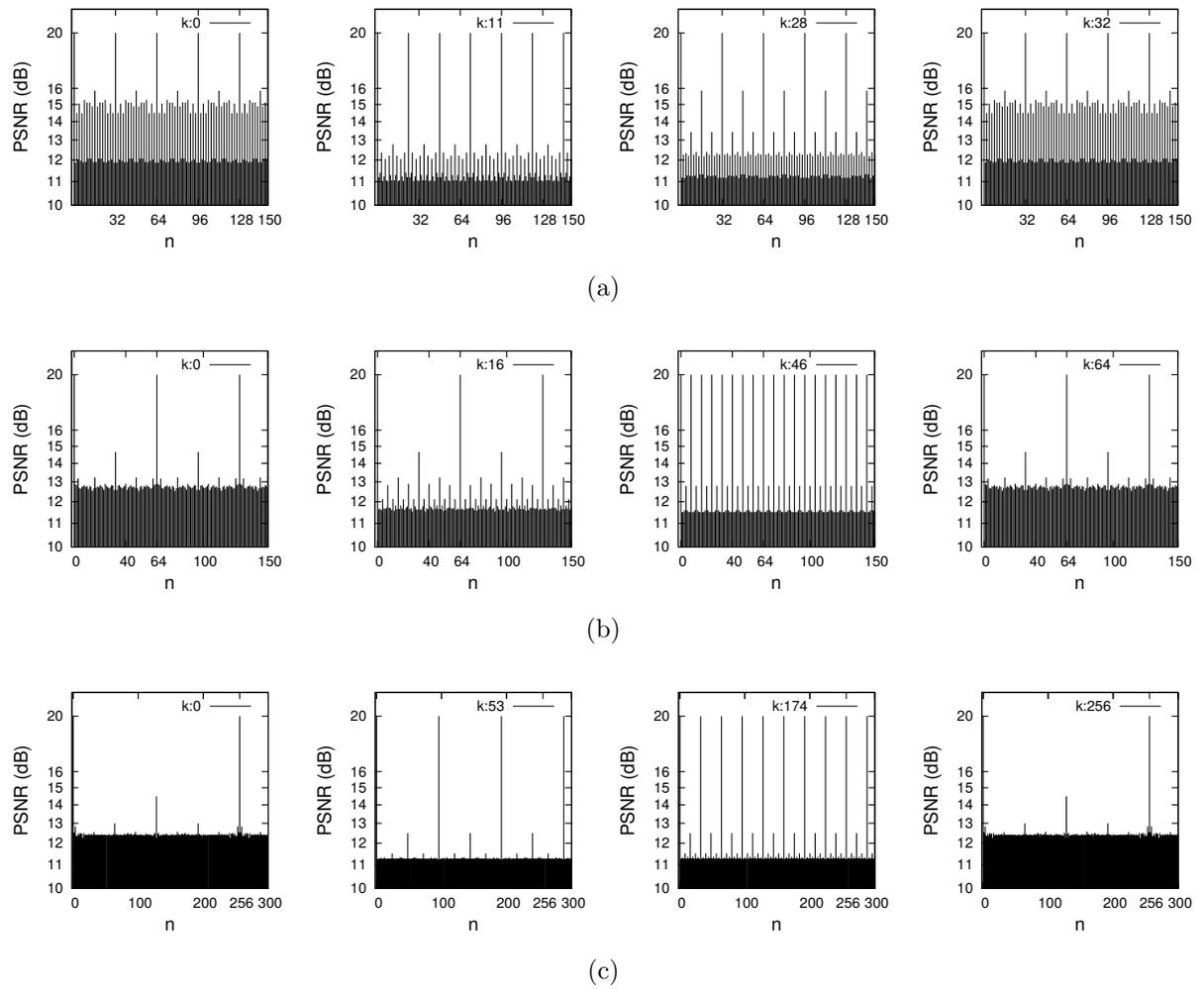


Figura 3.7: Gráficos de n v/s PSNR para diferentes valores de k ; (a): $N = 32$, (b): $N = 64$ y (c): $N = 256$.

producto de lo cual no se asignan valores a otros, produciendo resultados erróneos.

Producto de lo anterior, una vez detectada la problemática, se hace necesario identificar los parámetros que generen resultados correctos, por lo que, como técnica de evaluación, se estudia el reposicionamiento de píxeles en una matriz de dimensiones 128×128 (tamaño de la imagen a entrelazar). Así, el análisis consiste en asignar el valor `false` a cada ubicación de la matriz, y ejecutar el entrelazado utilizando el algoritmo de mezcla de Turner and Peterson. De este modo, a cada nueva posición asignada se asigna el valor `true`, calificando a la combinación de parámetros como no válida en caso de existir una sobre escritura de alguna. Este estudio se ejecuta para las combinaciones de parámetros comprendidas en los rangos $0 \leq \text{ByteOffset} < 16500$ y $0 \leq \text{PacketOffset} < 16500$, utilizando 27 bytes de tamaño por paquete.

Una vez concluido el proceso anterior, la cantidad de resultados correctos fue superior a las 8300 tuplas, por lo que, con el fin de reducir la cantidad de combinaciones a evaluar, se verifica la existencia de patrones de mezcla idénticos, generados a partir de diferentes combinaciones de parámetros. Para esto, se utiliza una matriz de dimensiones 128×128 asignando a cada posición un número secuencial, para luego mezclarla utilizando la técnica en estudio, para cada combinación de parámetros válida, almacenando en ficheros individuales los patrones resultantes. Al finalizar el entrelazado es necesario comparar los patrones de mezcla generados y eliminar los ficheros con igual contenido, utilizado el programa `fdupes` (linux), para tal tarea. Luego de realizado este proceso las tuplas válidas son disminuidas a 8192.

Cabe destacar que, los pares de parámetros calificados como válidos están acotados por el valor 16384, equivalente a la longitud de la imagen (o matriz) utilizada. Este fenómeno se explica debido a que una vez sobrepasada esta cota el offset para cada nueva ubicación supera el límite de la imagen, repitiéndose los patrones de mezcla ya generados. Un ejemplo para el comportamiento explicado se genera, al considerar `ByteOffset = 3`, una imagen de 128×128 píxeles y un payload de 27 bytes, donde el patrón de entrelazamiento obtenido es el mismo para `PacketOffset = 81` y para `PacketOffset = 16465` ($16465 - 16384 = 81$). Así, es posible definir como cota para los parámetros de esta técnica la longitud de la imagen a entrelazar ($N \times N$), teniendo siempre en consideración que no todas las combinaciones son válidas.

Producto del análisis anterior, en el Anexo E se adjunta una tabla con las tuplas de

parámetros válidas dentro del rango especificado.

3.3. Evaluación de la mejor combinación de parámetros

Una vez determinado el rango de validez de el(los) parámetro(s) para cada método utilizado, resulta importante evaluar que configuración permite generar mejores resultados al recuperar una imagen transmitida a través de WWSN's, de modo que al implementar aplicaciones se cuente con la información necesaria para obtener los resultados requeridos. Para esto, se realiza el siguiente procedimiento para cada método, evaluando los resultados obtenidos en busca de los mejores parámetros en cada caso.

3.3.1. Proceso de evaluación genérico

Utilizando el conjunto de imágenes y de patrones de pérdidas mencionado en 3.2.1, se simula mediante Sim-LIT la transferencia de cada una de las imagen en él para cada archivo de pérdidas disponible, utilizando para ello las combinaciones de parámetros dentro de los rangos antes determinados (para dimensión $N = 128$), dependiendo del método empleado. Se utiliza un tamaño de paquete de 27 bytes. De este proceso se consigue generar una medida de PSNR entre la imagen final (recibida, reordenada y restaurada) y la original, para cada una de las simulaciones, cuantificando la calidad de cada imagen para variados estados del canal de transmisión y para las diferentes configuraciones de los métodos de entrelazamiento.

Al concluir el proceso, una vez obtenidos estos datos, se evalúan los parámetros que logren la mejor calidad en las imágenes resultantes. Para esto, se calcula el promedio de los datos generados por cada porcentaje de pérdidas y por cada combinación de parámetros, es decir, la media del PSNR entre las 44 imágenes transmitidas por simulación. De esta forma, se consigue un conjunto de PSNR's para medir el desempeño de cada combinación de parámetros bajo diferentes estados del canal de transmisión. Un aspecto a destacar es la obtención de valores infinito en las calidades de algunas imágenes luego de la simulación, fenómeno que se explica debido a la distribución de pérdidas y a la correlación unitaria, o muy alta, que existe entre píxeles vecinos al no recibido y este último, obteniéndose un valor idéntico al original luego de la reconstrucción, y por tanto, generándose un bitmap igual al inicial. Un ejemplo de esto, se puede observar en la Figura 3.8, donde, al comparar la imagen original (Figura 3.8a) con la restaurada (Figura 3.8c) no se aprecia diferencia, esto debido a que las pérdidas generadas (puntos de color blanco en la Figura 3.8b) están ubicadas en sectores de píxeles

con alta redundancia. Este comportamiento se comenta ya que dificulta el análisis, puesto que al promediar los valores de calidad obtenidos se generan resultados no deseados. Debido a que este fenómeno es particular, puesto que depende de características específicas del canal de transmisión y de la imagen en sí, estos valores son obviados, representando el desempeño del método, para los parámetros utilizados, sin considerarlos.

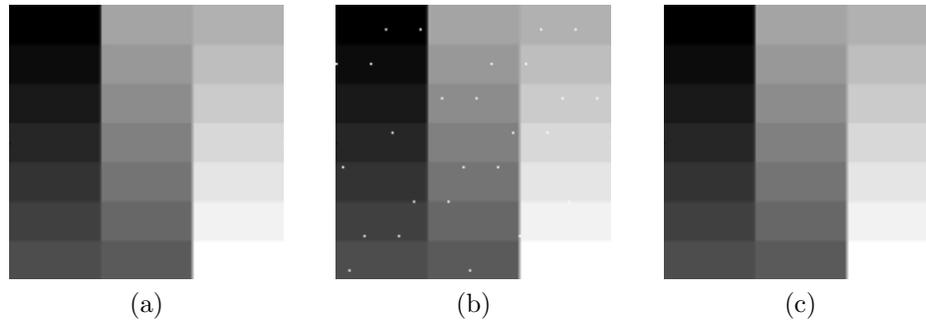


Figura 3.8: Imagen idéntica a la original luego de ser transmitida sobre canales propensos a pérdidas. (a) original, (b) ordenada y recuperada, (c) restaurada

Una vez generado el conjunto de valores que representa a las diferentes combinaciones de parámetros válidas, es necesario comparar su desempeño para determinar la que entregue mejores resultados. Para esto, utilizando el software GNU Octave versión 3.6.2, se genera una curva que represente a los puntos obtenidos luego de la simulación, utilizando para ello polinomios de grado 8, a través de la función `polyfit()`. Así, para determinar el mejor par de parámetros se calcula el área bajo cada una de las curvas, utilizando las funciones `polyout()` para construir la función polinomial, en base a los coeficientes calculados anteriormente con `polyfit()`, y `quad()` para calcular la integral definida en el intervalo 1 a 90 (porcentaje de pérdidas), determinando el mayor área bajo cada curva, y por ende, los parámetros que generan mejores resultados.

Cabe destacar que esta técnica de evaluación no es válida en todos los casos, ya que utiliza un método aproximado de representación. Sin embargo, las conclusiones obtenidas a partir de este análisis son válidas para la mayoría de los casos estudiados.

3.3.2. Evaluación de parámetros para Torus Automorphisms

El método de entrelazamiento de imágenes TA cuenta con dos parámetros, k y n , para los que, en la Sección 3.2.4, se determinó un rango de operación. Según esto, se lleva a cabo el proceso de evaluación descrito anteriormente considerando estos límites, para las imágenes y patrones de pérdida nombrados.

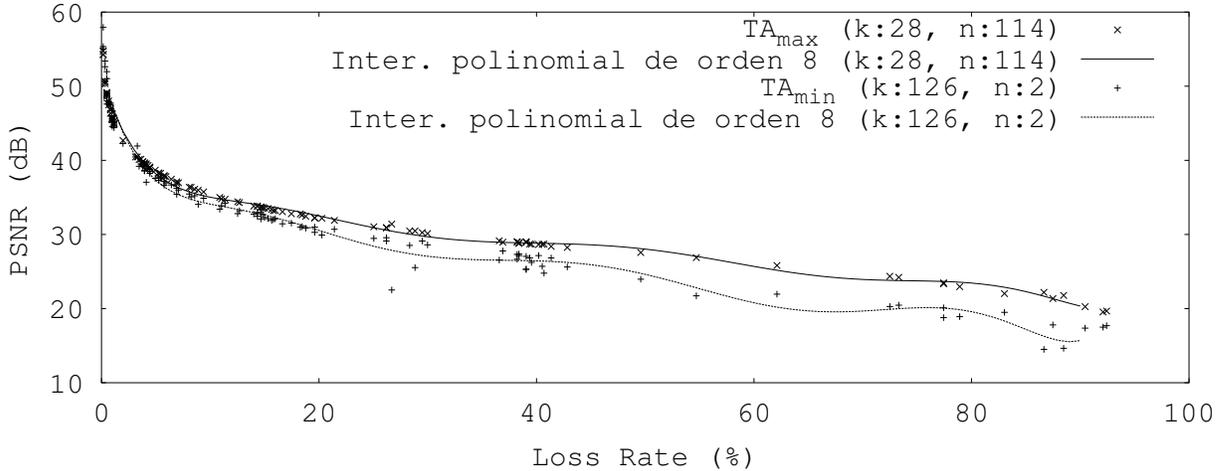


Figura 3.9: Gráfica de la mejor y peor dupla de parámetros, usando Torus interleaving, para interpolación polinomial de grado 8

Una vez finalizado este proceso, al realizar el estudio de los datos obtenidos, se determina que el par de parámetros que genera una curva interpolada con mayor área, o dicho de otra forma, con los que se obtiene el mayor promedio para las calidades de las imágenes reconstruidas bajo diferentes estados del canal de transmisión, son $k = 28$ y $n = 114$, calculándose un área bajo la curva de 2681. De igual forma, se determina que los parámetros que obtienen la mínima evaluación son $k = 126$ y $n = 2$, calculándose un área bajo la curva de 2194. En la gráfica mostrada en la Figura 3.9, se representan los datos, y la curva interpolada, para el mejor y peor caso, ubicándose el resto de los resultados entre estas curvas.

Para analizar el conjunto total de datos obtenidos y evaluar de forma general el método en estudio se realiza el gráfico mostrado en la Figura 3.10. En él es posible observar la cantidad de resultados generados para los valores de área bajo la curva conseguidos del estudio anterior. En el gráfico se consideran 30 intervalos de valores de áreas, mostrando la cantidad de resultados que estén dentro de cada uno de estos grupos. Un aspecto importante

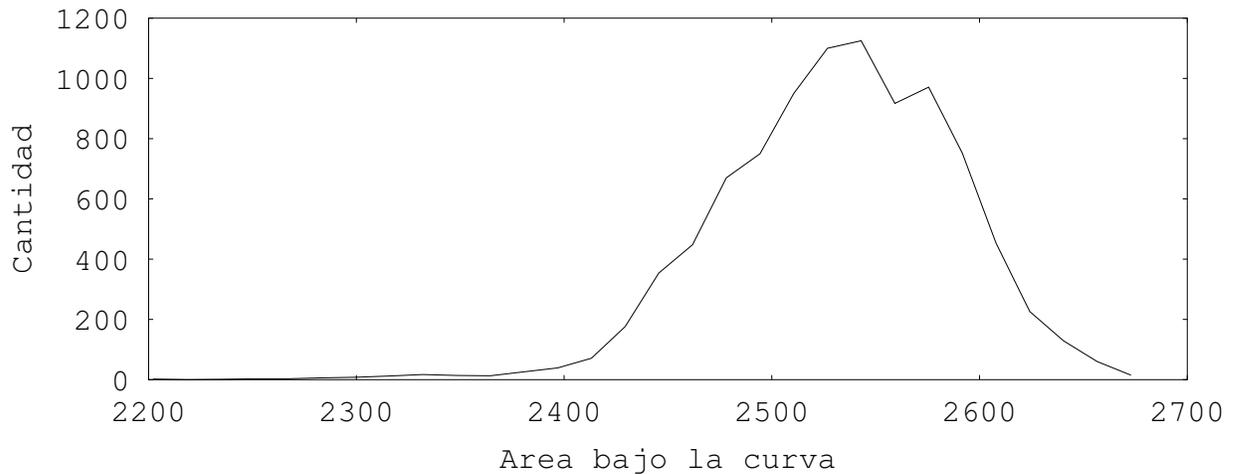


Figura 3.10: Histograma de áreas bajo la curva para simulación utilizando Torus interleaving

a destacar al analizar la Figura 3.10, es que un porcentaje importante del total de valores de área generados es cercano al máximo valor alcanzado, por lo que una gran cantidad de combinaciones de parámetros generan buenos resultados.

3.3.3. Evaluación de parámetros para DSJ-AL

El método de entrelazamiento DSJ-AL cuenta con un único parámetro, s , para el que se define, en la Sección 3.2.3, un rango de operación que permite la evaluación de la técnica. Dado esto, al realizar el procesamiento anteriormente descrito y considerando las imágenes y patrones de pérdida mencionados, se obtiene como mejor parámetro del método $s = 92$ alcanzando un área bajo la curva interpolada máxima igual a 2657. Además, se determina el área mínima, alcanzada por la curva interpolada asociada a los datos generados por la simulación para el parámetro $s = 15082$, para un valor de 2116. En la gráfica de la Figura 3.11 se muestran los datos y la curva interpolada para ambos casos, obteniéndose los resultados para los restantes parámetros válidos entre estas dos curvas.

Con el fin de analizar de forma general los datos producidos luego de la simulación se generan las curvas interpoladas para cada parámetro válido y se calcula el área bajo cada una de estas, luego se divide el rango de áreas obtenidas en 30 intervalos y se construye el gráfico mostrado en la Figura 3.12 con la cantidad de parámetros para los cuales las áreas obtenidas están dentro de cada grupo. De esta forma, en el gráfico es posible apreciar que los

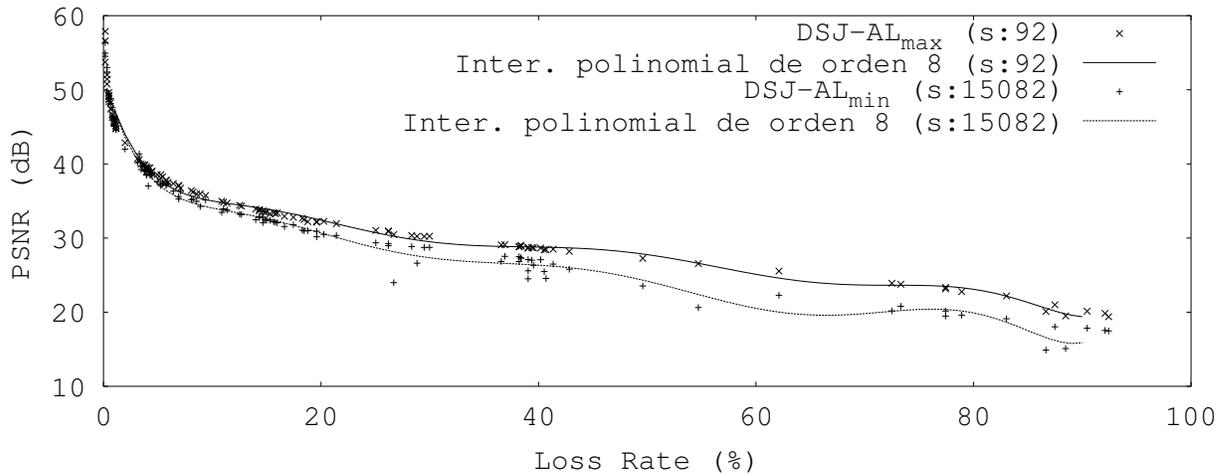


Figura 3.11: Gráfica de la mejor y peor dupla de parámetros, usando DSJ-AL interleaveing, para interpolación polinomial de grado 8

resultados obtenidos para la mayoría de los parámetros analizados se encuentran cercanos al valor mínimo.

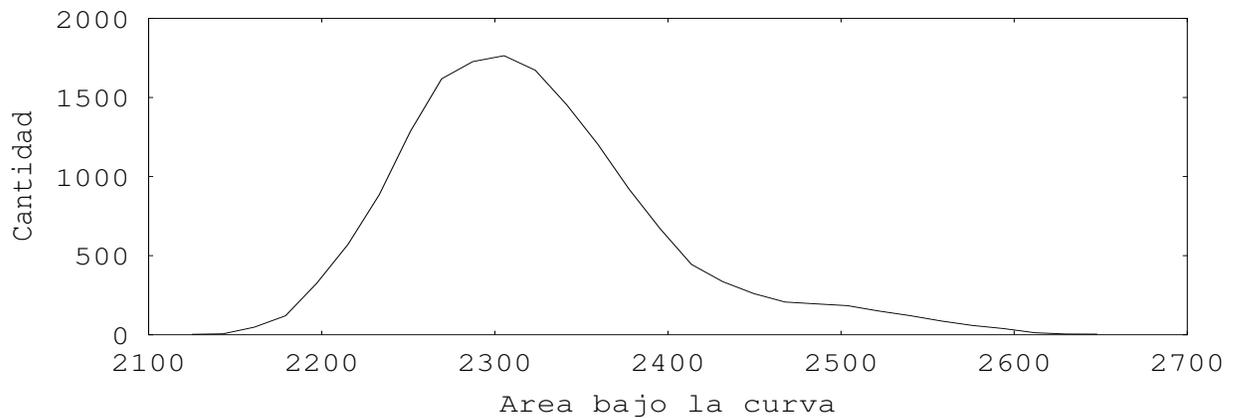


Figura 3.12: Histograma de áreas bajo la curva para simulación utilizando DSJ-AL interleaveing

3.3.4. Evaluación de parámetros para Turner and Peterson

El método Turner and Peterson cuenta con dos parámetros, *ByteOffset* y *PacketOffset*, los que una vez evaluados y acotados, procedimiento realizado en la Sección 3.2.5, superan

las 8000 combinaciones válidas. Producto de esto, y considerando que esta técnica no es válida en un rango de operación, si no que, para valores discretos dentro de él, se lleva a cabo la evaluación descrita anteriormente, para las imágenes y estados del canal de comunicaciones establecidos. Al concluir, el par de parámetros que genera los mejores resultados, medidos a través del cálculo de la integral de la curva interpolada, es $ByteOffset = 11727$ y $PacketOffset = 5333$, obteniendo un área bajo la curva máxima de 2683. Por su parte, los parámetros que generan la curva que alcanza las menores calidades, son $ByteOffset = 10923$ y $PacketOffset = 9$, alcanzando como valor de área 2216. En la Figura 3.13 es posible apreciar los datos obtenidos para ambas combinaciones de parámetros, y sus curvas asociadas.

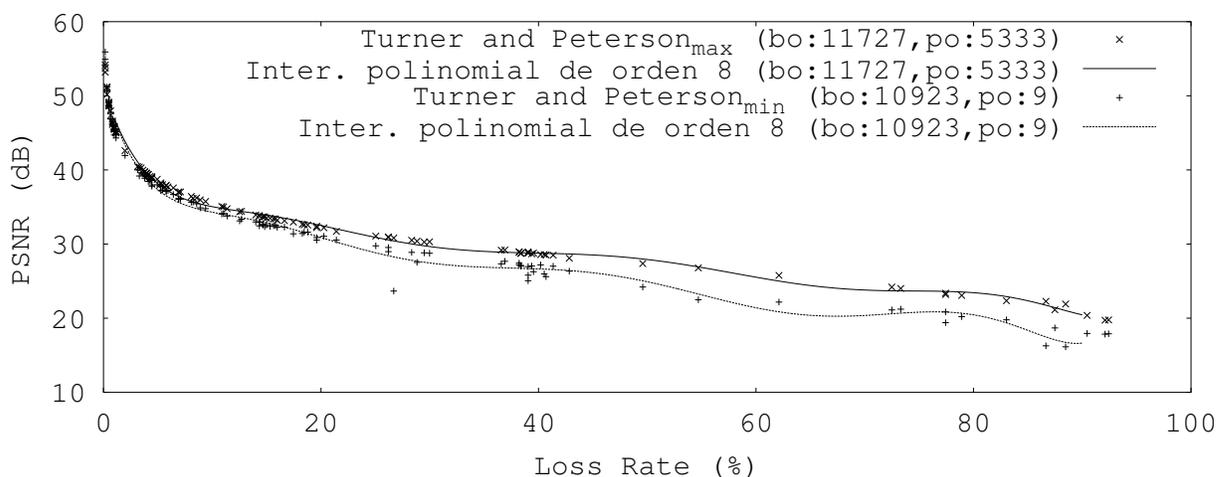


Figura 3.13: Gráfica de la mejor y peor dupla de parámetros, usando Turner and Peterson interleaving, para interpolación polinomial de grado 8

Al igual que en los métodos anteriores, para analizar de forma general los resultados alcanzados luego del análisis, se genera el gráfico mostrado en la Figura 3.14. Para la construcción de esta Figura se dividen en 30 intervalos los valores de área bajo la curva alcanzados para cada par de parámetros válidos. Así, se muestra la cantidad total de combinaciones de parámetros que están dentro de cada uno de estos, notándose que un alto porcentaje se encuentra muy cercano al valor de área bajo la curva interpolada máximo.

3.3.5. Comparación de resultados

A modo de comparación entre los métodos de entrelazamiento evaluados y la transmisión secuencial de datos, en la Figura 3.15 se grafican los datos obtenidos al utilizar los mejores

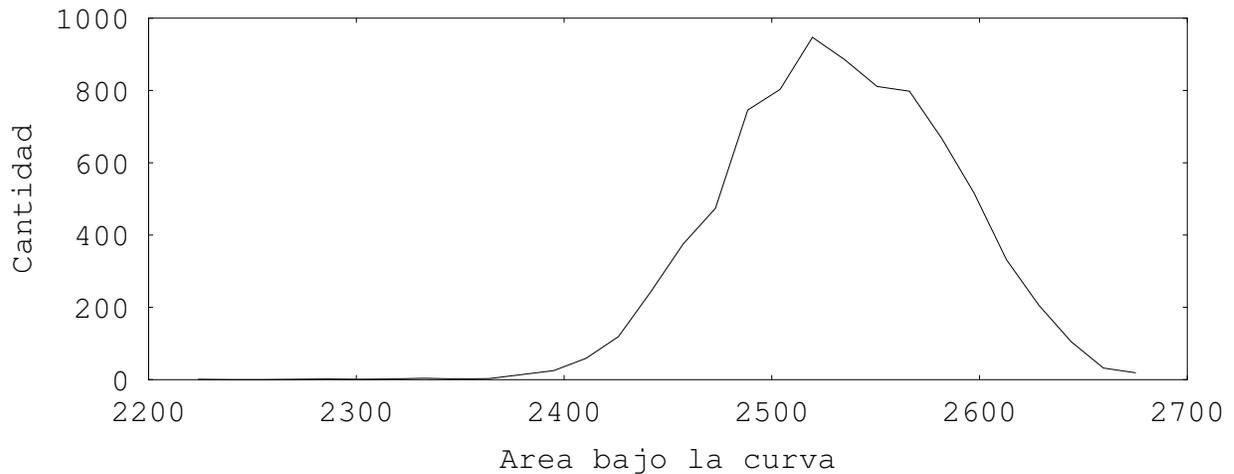


Figura 3.14: Histograma de áreas bajo la curva para simulación utilizando Turner and Peterson interleaving

parámetros de cada uno y los datos generados al no utilizar método de mezcla. De este modo, es posible apreciar que, las técnicas de entrelazado, independiente del método utilizado, generan mejores resultados que la transmisión secuencial para porcentajes de pérdida superiores al 15%. Bajo este valor, los datos al utilizar cualquier estrategia de transmisión son bastante similares. Con respecto a las técnicas de mezcla, es notorio que generan resultados semejantes, no obstante, existen diferencias por sobre el 40% de paquetes perdidos. Así, para las tasas de pérdidas en el rango comprendido entre el 40% y el 80%, Torus genera mejores resultados que sus pares, sin embargo, al utilizar Turner and Peterson se obtienen datos bastante cercanos a estos. Por su parte, DSJ-AL es el que presenta un desempeño menor, con respecto a los otros métodos de entrelazamiento. Cabe destacar que, estos son los valores máximos de cada una de las técnicas, por lo que para generar una conclusión sobre el mejor desempeño es necesario evaluar los resultados mostrados anteriormente en su conjunto.

Con el fin de analizar en su conjunto el desempeño general de los métodos bajo estudio, se genera el gráfico mostrado en la Figura 3.16, donde es posible observar los histogramas de cada una de las técnicas.

En este gráfico se muestran las diferencias en la distribución de las cantidades de parámetros que generan áreas bajo las curvas interpoladas para 30 intervalos entre los valores máximos y mínimos de área para cada técnica. De esta forma, se puede extraer como conclusión

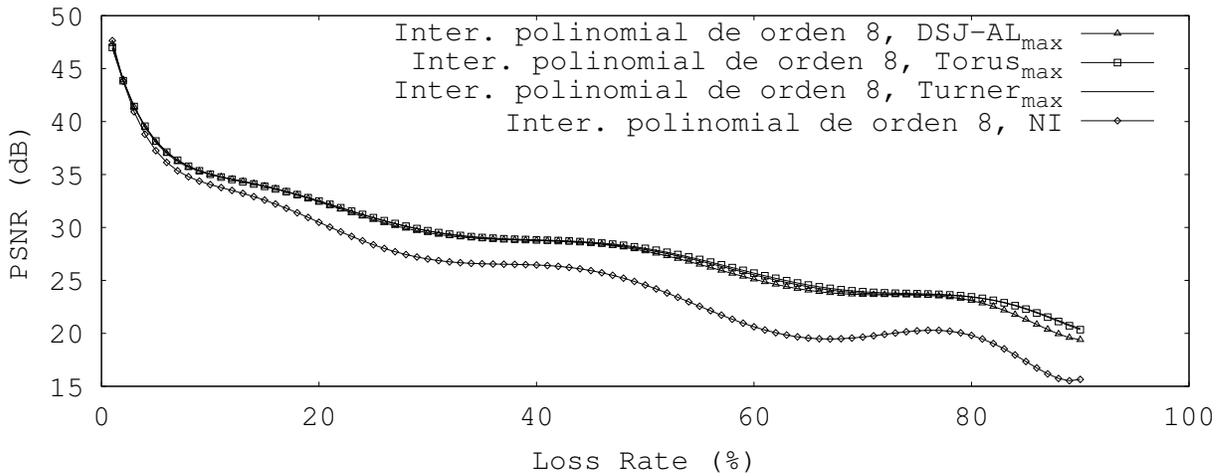


Figura 3.15: Gráfica transmisión secuencial y entrelazada utilizando los mejores parámetros de cada método

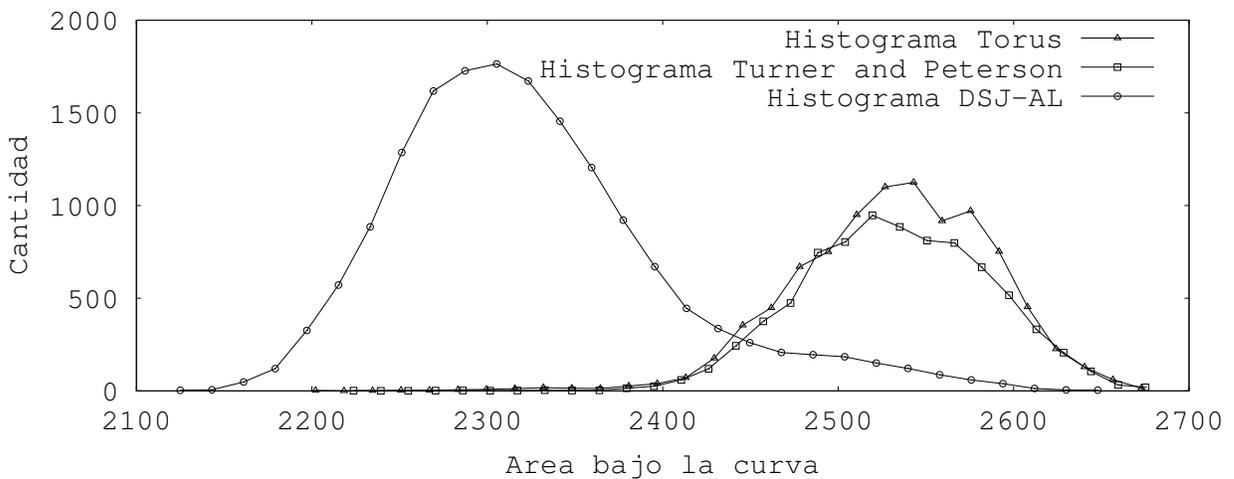


Figura 3.16: Histograma de áreas bajo la curva general

que los métodos que tienen una mayor cantidad de parámetros que generan resultados cercanos al máximo son Torus y Turner and Peterson. En el caso de DSJ-AL la mayor cantidad de resultados se encuentran cercanos al mínimo. Al comparar los dos mejores métodos se destaca Torus por sobre Turner and Peterson, puesto que la distribución de esta técnica muestra mayor cantidad parámetros que generan áreas cercanas al máximo, alcanzando un 73,5% del total de datos por sobre los 2500 (área bajo la curva) para Torus y un 72,7% para Turner and Peterson.

Cuadro 3.3: Tabla resumen de áreas bajo la curva para cada técnica de entrelazamiento

Técnica	Mín.	Máx.	Promedio
Torus	2194	2681	2531,69
DSJ-AL	2116	2657	2323,26
Turner and Peterson	2216	2683	2532,42

Además de los análisis ya realizados, se muestra en el Cuadro 3.3 un resumen con el máximo, mínimo y el resumen de las áreas bajo las curvas interpoladas previamente calculadas. Con estos datos es posible determinar que los métodos Torus y Turner and Peterson poseen mejores indicadores que DSJ-AL, además es posible verificar que en este caso Turner and Peterson posee valores de área interpolada mínimos, máximos y promedio mejores que Torus.

En base a los resultados mostrados, es posible determinar claramente que los métodos Torus y Turner and Peterson tiene un mejor desempeño que DSJ-AL. En cuanto a definir un mejor método, si bien Turner and Peterson posee valores mínimos, máximos y promedio del área bajo la curva interpolada, se determina que Torus presenta un mejor rendimiento, ya que posee una mayor cantidad de parámetros que entregan buenos resultados, y que las curvas interpoladas muestran comportamientos similares.

3.3.6. Evaluación de resultados reales

Una vez evaluados los métodos de entrelazamiento, luego de estudiar el funcionamiento de cada uno, definir los rangos de operación y los parámetros que generan los mejores resultados, se realiza la implementación de los mismo en una plataforma real. Para ello, se diseña un circuito de prueba que cuente con un dispositivo emisor y un módulo receptor, y la interfaz de usuario requeridas para obtener los datos desde un computador y realizar el proceso inverso al efectuado en el circuito emisor (reordenamiento de la imagen enviada). Así, posteriormente se muestran las imágenes capturadas bajo diferentes condiciones, comentando los resultados obtenidos.

Módulo emisor

El módulo emisor, es construido según el diagrama mostrado en la Figura 1.1, incluyéndose en él etapas de procesamiento, de almacenamiento, de comunicaciones y de sensaje, diseñándose el circuito mostrando en el diagrama esquemático de la Figura C.2, en el Anexo C.

De forma general, la etapa de procesamiento está compuesta por un microcontrolador PIC18F2550 de la empresa Microchip², destacándose algunas de sus características en el Cuadro 3.4 (Microchip, 2006). A su vez, este dispositivo controla las demás etapas del circuito, siendo programado en lenguaje C y utilizando el compilador CCS (Custom Computer Services, 2014).

Cuadro 3.4: Características microcontrolador PIC18F2550

Característica	Valor
Cantidad de pines	28
Memoria de programa	32 KB
Memoria RAM	2 KB
Oscilador	20 MHz (cpu: 48 MHz)
Puerto USART	1
Vdd	-0,3V a 7,5V

La etapa de comunicación está compuesta por un dispositivo transmisor XBee serie 1 (Figura 3.17a), ya que está orientado a la transmisión con un bajo consumo y cuenta con la flexibilidad necesaria para ser incluido de forma sencilla en proyectos electrónicos. Así, una característica a destacar es la posibilidad de configuración según las necesidades requeridas, permitiendo su uso de forma transparente, solo siendo necesario el envío de datos, o definiendo una trama de transmisión (modo API). Algunas de las características de este dispositivo se muestran en el Cuadro 3.5 (International, 2008).

La etapa de sensaje está compuesta por un dispositivo serial modelo μ cam-232 de la empresa 4D Systems³, el que posee una micro-cámara y una memoria EEPROM embebida, lo que permite obtener imágenes sin compresión con resoluciones de 80×60 , 160×120 , 320×240 ,

²<http://www.microchip.com/>

³<http://www.4dsystems.com.au/>

Cuadro 3.5: Características Xbee Pro serie 1

Característica	Valor
Transmisión indoor	60 <i>m</i> a 90 <i>m</i>
Transmisión outdoor	750 <i>m</i> a 1600 <i>m</i>
Tasa de transferencia	250 <i>Kb/s</i>
Vdd	2,8 <i>V</i> a 3,4 <i>V</i>
Potencia de transmisión	10 <i>mW</i> a 63 <i>mW</i>
Frecuencia de transmisión	2,4 <i>GHz</i>
Protocolo de comunicación	IEEE 802.15.4

640 × 480, 128 × 128 y 128 × 96 e imágenes comprimidas mediante JPEG con resoluciones de 80 × 64, 160 × 128, 320 × 240 y 640 × 480. De este modo, el dispositivo se comunica al microcontrolador mediante un interfaz UART, a través del cual es posible configurar la cámara y obtener los píxeles que componen la imagen, una vez capturada (4D-Systems, 2012). Los comandos que permiten dicha configuración y extracción de datos son mostrados en el Cuadro C.1, del Anexo C. En la Figura C.1 del mismo Anexo se muestra un diagrama que ejemplifica la interacción entre la cámara y el dispositivo que la controla (en este caso un microcontrolador), exponiéndose la secuencia de comandos a seguir para recuperar una imagen capturada.

Módulo receptor

En cuanto al módulo receptor, se utiliza un dispositivo XBee serie 1 (Figura 3.17a) en conjunto al módulo Xbee Explorer (Figura 3.17b), lo que permite conectar mediante USB el receptor a un computador. De esta forma, y configurando este dispositivo en modo API (tramas de información), se diseña una aplicación que permite la extracción estas tramas desde un puerto USB y que realiza el proceso inverso al de entrelazamiento, considerando los métodos de Torus, Turner and Peterson y DSJ-AL.

Así, se diseña una interfaz de usuario que permita la recuperación de los datos enviados por el módulo emisor. Para el diseño de esta aplicación se utiliza el lenguaje C y Qt 5.1.0⁴ y la librería QextSerialPort⁵ para el manejo de puertos seriales. Como se ha detallado anteriormente, el módulo emisor utiliza el envío de datos en modo API, de modo de contar

⁴<http://qt-project.org/>

⁵<http://code.google.com/p/qextserialport/>

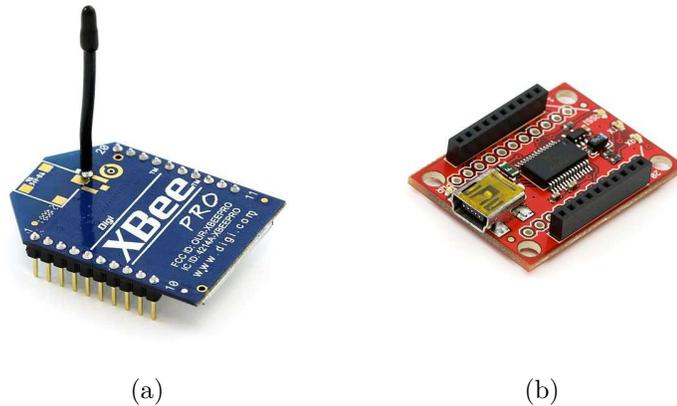


Figura 3.17: Imagen referencial dispositivos Digi (Digi, 2014). (a) XBee, (b) Explorer

con una estructura en los datos para su posterior explotación. De este modo, se hace necesario detallar la trama utilizada. Así, se emplea un byte con el valor $0x7E$ como indicador de inicio de trama, dos bytes para la longitud de los datos (excluyendo el inicializador y el checksum), un byte con el valor $0x00$ como indicador de modo API, un byte que identifica al paquete (tomando el valor $0xAA$, excepto para el último paquete que utiliza el $0xBB$), 8 bytes para especificar la dirección de destino, un byte para indicar la transmisión con, o sin, ACK ($0x01$ sin acuso de recepción, $0x00$ con acuso de recepción), dos bytes para indicar el número secuencial del paquete enviado, **payload** bytes en los que se almacenan los píxeles de la imagen, y por último un byte con la suma de verificación, para corroborar la integridad de los datos. En la Figura 3.18 se muestra una captura de la interfaz diseñada.

Imágenes capturadas mediante el circuito de prueba

En el siguiente apartado se realizan un conjunto de pruebas que permitan la evaluación de las técnicas estudiadas sobre una plataforma real, para lo que se utilizan el circuito y softwares mostrados anteriormente. Los ensayos realizados consisten en la captura de una imagen de la torre Eiffel, mostrada en la Figura 3.19a, considerando tres rangos del canal de comunicaciones; bajo (al rededor de un 4% de pérdidas), medio (al rededor de un 25%) y alto (al rededor de un 70%). Así, se evalúa el caso sin entrelazamiento y los métodos de mezcla DSJ-AL, Torus y Turner and Peterson, para los mejores parámetros detectados en cada caso, permitiendo la comparación de cada técnica con sus pares. Cabe destacar que las

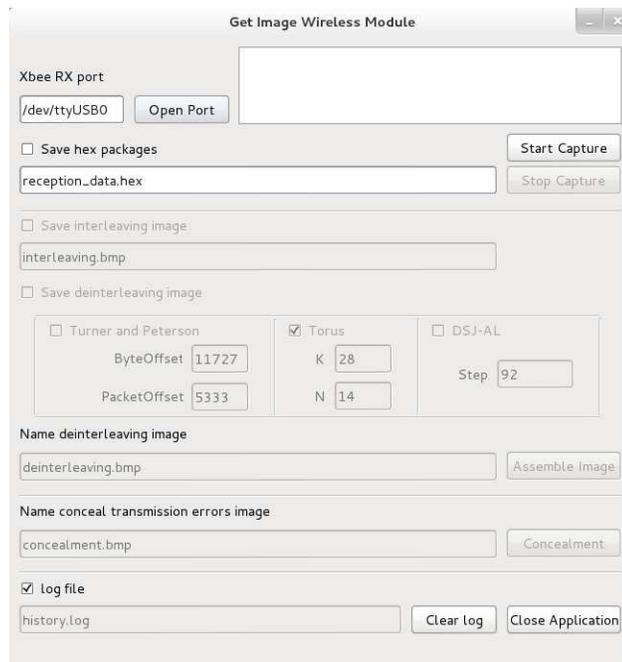


Figura 3.18: Interfaz de recepción

tasas de pérdidas analizadas no son las mismas para todos los casos, puesto que, al realizarse la captura en ambientes reales resulta poco probable que se mantengan las condiciones en el canal luego de realizarse una captura, variando los porcentajes o los patrones de pérdidas. En las próximas imágenes, al igual que a lo largo de este trabajo, los píxeles no recibidos son representados mediante “espacios” en color blanco.

Un primer set de resultados es presentado en las imágenes de la Figura 3.19 (excepto la Figura 3.19a), los que corresponden a la transmisión secuencial. Las tasas de pérdidas que afectan a la comunicación durante esta prueba son de 3 %, 28 % y 60 % de paquetes perdidos para cada rango respectivamente. En las Figuras 3.19b, 3.19c y 3.19d se muestran los bitmap recuperados en el módulo receptor, y en las Figuras 3.19e, 3.19f y 3.19g se presentan las imágenes reconstruidas por el software de recepción para cada caso. Analizando las imágenes recuperadas es posible verificar la presencia de pérdidas de paquetes en ráfaga para todos los casos, siendo cada vez más importantes según aumenta la tasa de pérdidas. Si bien estos dos conceptos no están directamente relacionados, es habitual que este fenómeno afecte a imágenes transmitidas utilizando WSN’s, deteriorándolas en mayor medida al aumentar los paquetes no recibidos. En el caso de las imágenes reconstruidas, se aprecia una mejora

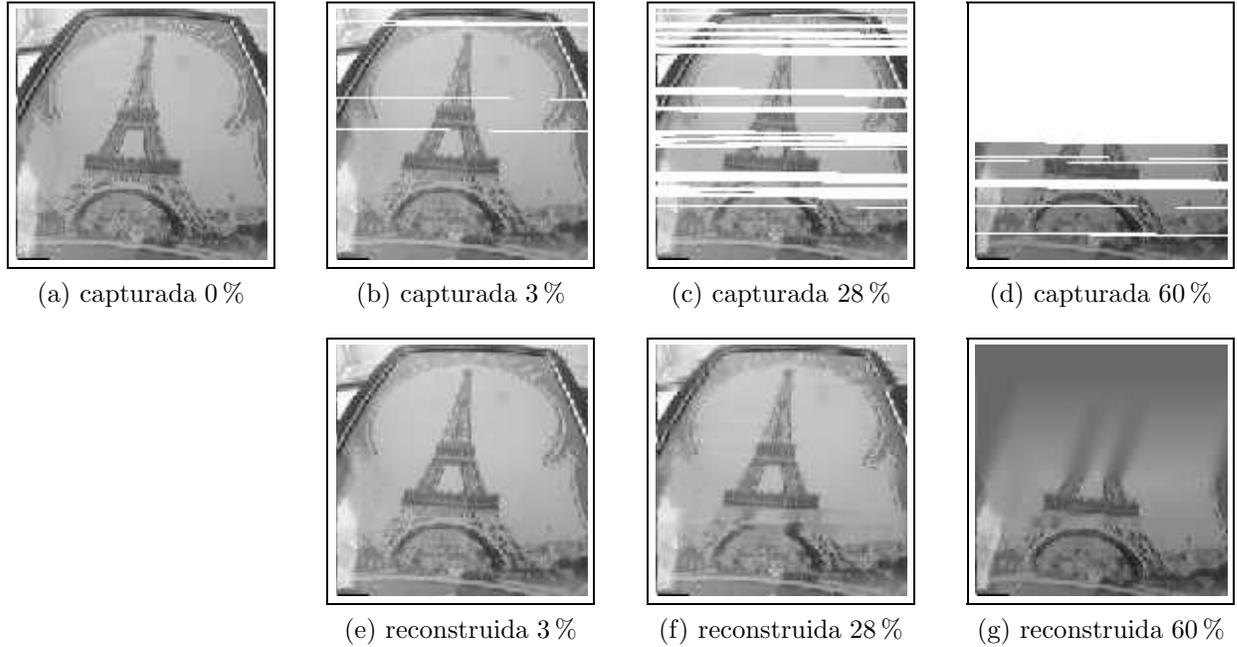


Figura 3.19: Imagen de Prueba (a) torre Eiffel e imágenes capturadas de forma secuencial

en la calidad, no obstante, el efecto producido por el algoritmo de ocultamiento de errores aplicado es más notorio en sectores afectados por este tipo de pérdidas. Producto de esto, si bien la imagen de la Figura 3.19e es bastante similar a la imagen capturada sin pérdidas (Figura 3.19a), es necesario minimizar el efecto nocivo que provocan las pérdidas en ráfaga al momento de reconstruir la imagen, puesto que para porcentajes superiores de paquetes no recibidos (caso común), imágenes 3.19f y 3.19g, se observa un deterioro considerable en la calidad de las mismas. Dada esta observación, y considerando las razones entregadas a lo largo de este trabajo, se realizan experimentos empleando los métodos de entrelazamiento antes mencionados previo a la transmisión, utilizando para ello el circuito de prueba, mostrando y comentando los resultados obtenidos a continuación.

Comenzando con la evaluación de resultados (en el módulo de prueba) para métodos de entrelazamiento, se observa en la Figura 3.20 el set de imágenes capturadas, reordenadas y reconstruidas para la técnica de mezcla Torus. En este caso, los porcentajes de pérdidas de paquetes producidos durante la transmisión son 4 %, 25 % y 75 % , capturándose las imágenes mostradas en las Figuras 3.20a, 3.20b y 3.20c. Luego, aplicando el algoritmo de entrelazamiento inverso, son obtenidas las imágenes en las Figuras 3.20d, 3.20e y 3.20f, finalizando el

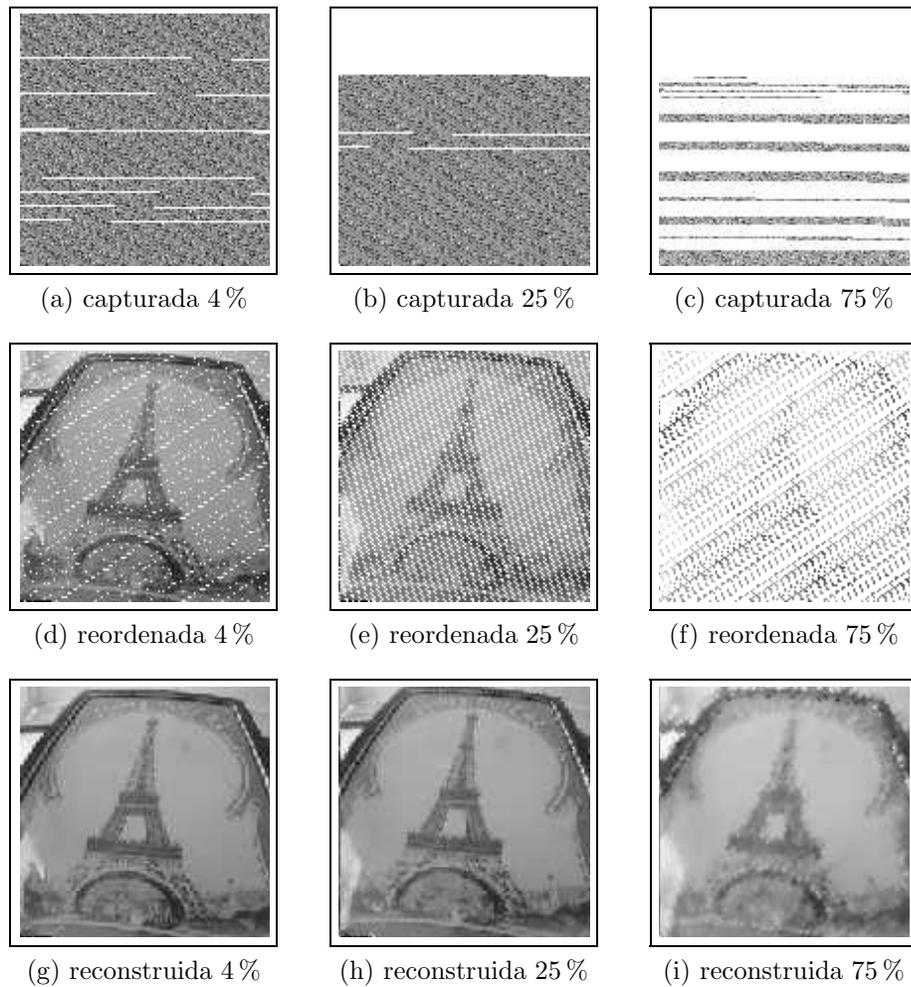


Figura 3.20: Imágenes capturadas empleando Torus interleaving

proceso al ejecutar el algoritmo de ocultamiento de errores, generándose las imágenes mostradas en las Figuras 3.20g, 3.20h y 3.20i para cada caso respectivamente. Así, evaluando visualmente los bitmaps transmitidos por el circuito emisor es posible detectar imágenes entrelazadas y afectadas por pérdidas de datos, ráfagas de paquetes no recibidos, similares a lo sucedido en la transmisión secuencial. Sin embargo, se observa en las Figuras 3.20d, 3.20e y 3.20f que es beneficioso el entrelazamiento de las imágenes, ya que al ser reordenadas los datos perdidos son distribuidos a través de todo el bitmap, no afectando excesivamente a un sector en particular. Esta característica permite que al aplicar algún algoritmo de ocultamiento de errores las imágenes resultantes sean notoriamente superiores en calidad visual a las obtenidas en transmisión secuencial, lo que adquiere gran relevancia a medida que aumentan

las tasas de pérdidas que las afectan (ver Figura 3.15). Esta última afirmación, basados en los estudios realizados en apartados anteriores, es válida para todos los métodos de entrelazamiento, modificándose los resultados según el tipo de mezcla aplicada.

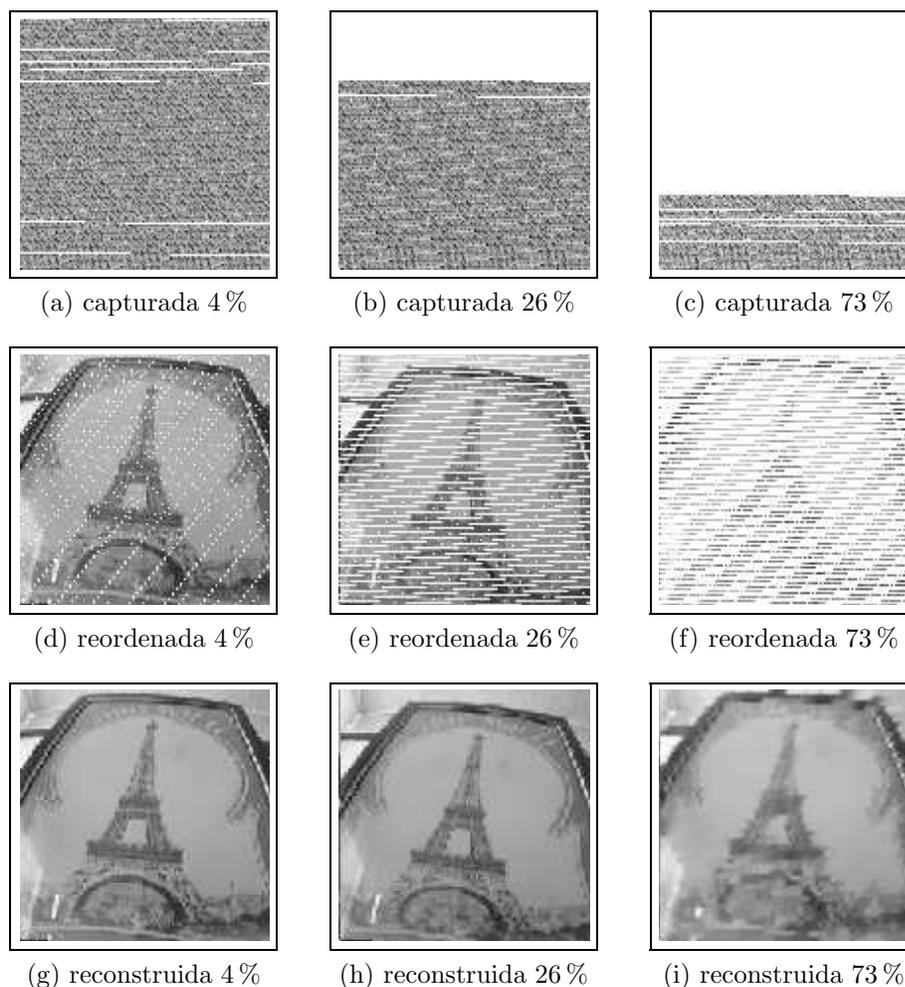


Figura 3.21: Imágenes capturadas empleando DSJ-AL interleaving

El segundo método de entrelazamiento implementado en el circuito de prueba corresponde a DSJ-AL, agrupándose los resultados obtenidos en la Figura 3.21. Durante el proceso de transmisión los porcentajes de paquetes no recibidos son de 4 %, 26 % y 73 % respectivamente para cada rango de pérdidas. Las imágenes recuperadas luego del envío son las mostradas en las Figuras 3.21a, 3.21b y 3.21c. En las Figuras 3.21d, 3.21e y 3.21f se encuentran las imágenes luego de la aplicación del proceso de entrelazamiento inverso. Por último, en las

Figuras 3.21d, 3.21e y 3.21f son mostradas las imágenes resultantes una vez aplicado un método de estimación de los píxeles faltantes. De este modo, es posible visualizar el tipo de pérdidas que afectan en la comunicación, contando nuevamente con importantes sectores de las imágenes afectados por pérdidas de paquetes en ráfaga. Además, es posible observar el patrón de entrelazamiento aplicado examinando las imágenes reordenadas, ratificándose un tipo de entrelazamiento diferente al método Torus, ya que la ubicación de píxeles no recibidos, una vez aplicados los métodos inversos, difiere en ambos casos. Así, al analizar la calidad visual de las imágenes finales se aprecia un buen resultado, solo siendo afectada en mayor medida la imagen 3.21i, ya que la cantidad de píxeles no recibidos es considerable. A pesar de esto, la imagen es claramente legible cumpliéndose el fin del entrelazamiento.

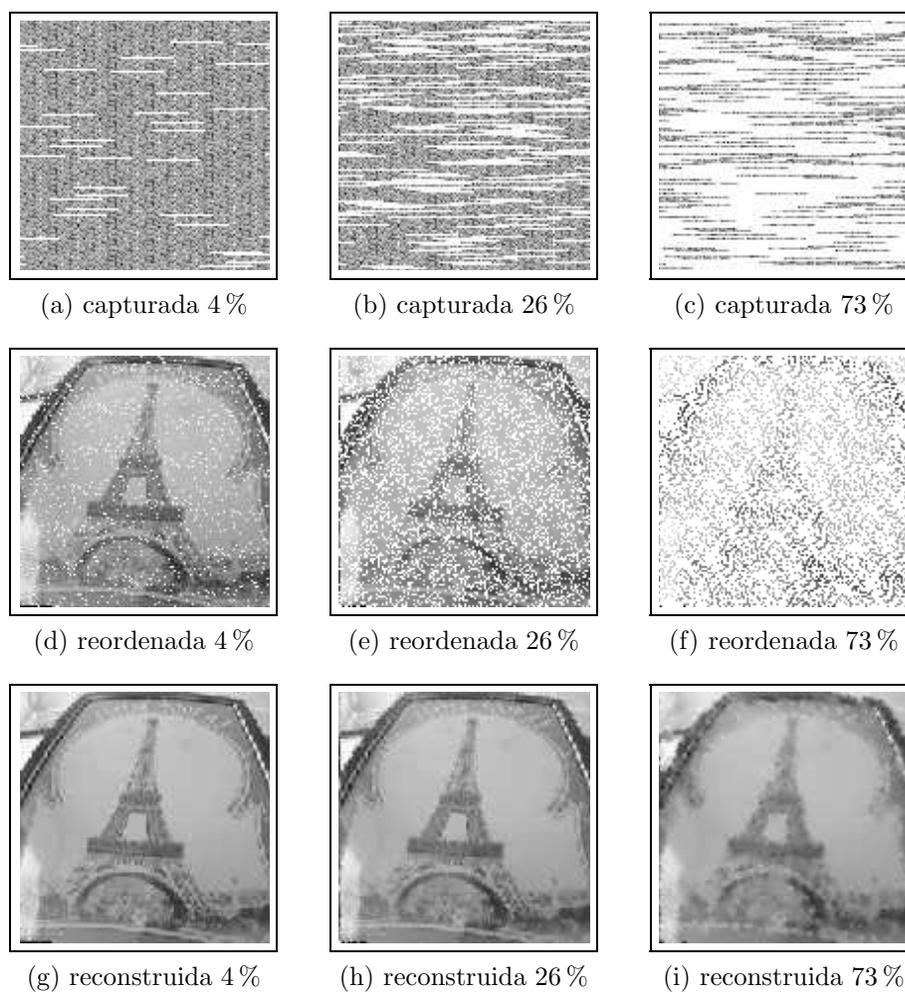


Figura 3.22: Imágenes capturadas empleando Turner and Peterson interleaving

El tercer y último algoritmo evaluado en el circuito de prueba es el método de entrelazamiento propuesto por Turner and Peterson. Los resultados obtenidos son los mostrados en la Figura 3.22, donde las imágenes de las Figuras 3.22a, 3.22b y 3.22c corresponden a las recepcionadas luego del proceso de transmisión. En este caso las pérdidas que afectan a dicho procedimiento son de 5 %, 28 % y 72 % de paquetes perdidos, observándose en las Figuras 3.22d, 3.22e y 3.22f las imágenes reordenadas utilizando el proceso de entrelazamiento inverso. Además, en las Figuras 3.22g, 3.22h y 3.22i se aprecian las imágenes generadas luego del proceso de reconstrucción de errores de comunicación. Así, es posible verificar, al igual que en los experimentos pasados, el carácter de ráfaga en las pérdidas, además de la distribución de estas a través del bitmap al momento de reordenar la imagen. En cuanto a las imágenes finales, se observa claramente el objeto capturado, generándose una disminución de calidad en las imágenes con mayor porcentaje de pérdidas.

Como comentario general es posible darse cuenta visualmente que todos los métodos de entrelazamiento generan mejores resultados de calidad que la transmisión secuencial. Además, se verifica que las pérdidas de paquetes en ráfaga afectan en gran medida a la imagen final, sin embargo la utilización de algoritmos de mezcla reduce este efecto al distribuir las pérdidas a lo largo de todo el bitmap, agregando robustez en la comunicación. Así, se muestran los efectos producidos para tres niveles de tasas de pérdidas, comparando visualmente los resultados obtenidos al emplear uno u otro método de transferencia de forma real, verificando la importancia de agregar robustez a las pérdidas generadas, siendo determinante en el caso de ser afectadas por ráfagas de datos no recibidos.

Conclusiones

Durante el desarrollo del presente trabajo se ha estudiado la transferencia de imágenes mediante redes de sensores inalámbricos, suprimiendo la retransmisión de datos y empleando, como método de robustez a pérdidas, el entrelazamiento de bloques. Específicamente, se ha analizado su efecto sobre imágenes afectadas por pérdidas de información, enfatizando en la capacidad de “distribuir” los píxeles faltantes a lo largo de la imagen para posteriormente aplicar algún algoritmo de ocultamiento de errores y obtener imágenes aproximadas a la capturada. Así, ya que el patrón de mezcla influye en la capacidad de separar pérdidas al reordenar la imagen, lo que está directamente relacionado con la calidad final alcanzada por esta, se estudian seis técnicas de mezclado de píxeles encontradas en la literatura. Los métodos analizados corresponden a Torus, DSJ-AL, Turner and Peterson y los esquemas propuestos por DeBrunner et al. (*horizontal*, *vertical* y *horizontal/vertical*), estudiando sus fundamentos y, para el caso de los últimos dos trabajos, proponiendo métodos de implementación. Producto de lo anterior, se desarrolla el simulador de transferencia de imágenes sobre redes de sensores inalámbricos, Sim-LIT, framework que cuenta con las facultades para la evaluación exhaustiva de técnicas de entrelazamiento, considerando como métrica de comparación el PSNR entre la imagen original y la reconstruida en el módulo receptor.

Una vez comprendidos los métodos estudiados, definidas sus implementaciones y desarrollado el simulador, se incluyen en el módulo de entrelazamiento de este último cada una de las técnicas presentadas, permitiendo la realización de experimentos para la evaluación del desempeño alcanzado por cada método y la comparación entre los mismos. Para llevar a cabo estos ensayos se emplean un set de 44 imágenes de prueba y un conjunto de 122 patrones de pérdidas, calculando un valor de PSNR por cada combinación de parámetros, cada imagen y cada patrón de pérdidas. En este sentido, se determina que el comportamiento de los métodos de mezcla propuestos por DeBrunner et al. no presentan mejoras significativas de calidad por sobre la transmisión secuencial, por lo que se desestima su utilización. En el caso de

las restantes técnicas, se verifica un comportamiento adecuado, siendo consideradas válidas como métodos de robustez ante pérdidas. Dado esto, se definen los rangos de operación para los parámetros de Torus, Turner and Peterson y DSJ-AL, considerando imágenes cuadradas de dimensiones $N \times N$, tal que $N = 2^x$ y $N, x \in \mathbb{N}$. Específicamente, se determina para DSJ-AL el intervalo $1 < step < (N \times N)$, dentro del cual se obtienen todos los resultados válidos generados con esta técnica. Para el caso de Torus se establece que sus parámetros generan resultados cíclicos, acotando k por N y n por los valores en el conjunto discreto $F_N = F_{N=2^{x-1}} \cup \{2^{x-1} + 2^{x-2}, N\}$, donde $x > 2$, dependiendo del parámetro k empleado. Puesto que los máximos n (parámetro T) dependen del parámetro k utilizado, en el Anexo D se especifican los valores de T por cada k en el intervalo $0 \leq k \leq N$, mostrándose tablas para $N = \{32, 64, 128, 256\}$. De igual forma, analizando Turner and Peterson se detecta que los resultados generados no son válidos para cualquier valor asignado a sus parámetros, definiéndose un conjunto de combinaciones discretas de ellos en el Anexo E, para generar resultados correctos en imágenes con $N = 128$ y empleando un payload de 27 bytes. Además, se determina que ambos parámetros son acotados por el valor $N \times N$.

Al definir rangos de operación para los métodos de entrelazamiento estudiados, producto de la cantidad de opciones disponibles, es necesaria la determinación de los parámetros que entreguen los mejores resultados en la mayoría de los escenarios. Para esto se lleva a cabo el análisis independiente para cada combinación de estos, por cada técnica (para imágenes de 128×128 píxeles), determinando los(el) que en promedio presenten el mejor comportamiento para diferentes tasas de pérdidas. Dicha evaluación arroja como mejor combinación para Torus $k = 28$ y $n = 114$, para Turner and Peterson $byteOffset = 11727$ y $packetOffset = 5333$ y para DSJ-AL $s = 92$. El desempeño alcanzado por cada técnica para estos valores es apreciable en la Figura 3.15, verificando calidades favorables al utilizar algún método de entrelazamiento por sobre la comunicación secuencial. Además, las curvas generadas para los tres métodos analizados, empleando sus parámetros máximos, presentan similitudes, difiriendo una de la otra en cantidades ínfimas.

A modo de comparación entre cada una de las técnicas evaluadas, además de considerar el comportamiento de los resultados para los mejores parámetros, es importante analizar el desempeño general de cada una. Para esto, calculando por cada parámetro (o combinación) el valor de la integral de la curva interpolada para el promedio (44 imágenes) de las calidades (PSNR) obtenidas bajo diferentes estados del canal de comunicaciones, y dividiendo el rango

de valores resultantes en 30 intervalos, se generan histogramas que indican la cantidad de parámetros (o combinaciones) para los cuales el valor calculado corresponde a uno u otro (ver Figura 3.16). Según las distribuciones observadas, se determina que gran parte de los parámetros válidos para DSJ-AL generan resultados cercanos al valor mínimo del indicador, como también que, la gran mayoría de los parámetros asociados a Torus y Turner and Peterson se ubican cercanos al máximo. Específicamente, Torus alcanza un 73,5% por sobre 2500 (valor de área bajo la curva) y Turner and Peterson un 72,7%. Además, se calcula el valor máximo, mínimo y promedio de área bajo la curva por cada método, no generándose mayores diferencias entre éstos para los dos primeros valores estadísticos. Sin embargo, para el caso de la media, Torus y Turner and Peterson superan a DSJ-AL, y Turner and Peterson presenta un valor ligeramente mayor a Torus.

Luego de los análisis realizados, se hace necesaria la evaluación de factibilidad en la utilización de los algoritmos estudiados sobre ambientes reales. Para esto, se diseña un módulo electrónico que cumpla con los preceptos de las WWSN's y los softwares necesarios para su implementación. Al contar con las herramientas básicas para la evaluación, se agregan al circuito emisor (nodo con capacidad de visión) los códigos para asignar las funcionalidades de entrelazamiento, y al software de recepción sus equivalentes inversos para el reordenamiento. En este punto es importante recalcar que los métodos de implementación mencionados son suficientes para ser aplicados a un módulo físico, debiendo considerarse las limitantes propias de las WSN's. Esta última afirmación es referida a la cantidad de memoria secundaria presente en el nodo (2 KB), la que al ser superada impide el correcto funcionamiento de éste. En cuanto a la evaluación misma, son realizadas diferentes capturas, empleando las técnicas de entrelazamiento de Turner and Peterson, Torus, DSJ-AL y la transmisión secuencial, para tres niveles de pérdidas de datos (bajo, medio y alto). De forma general, al comparar las imágenes recepcionadas con las generadas mediante simulación, se verifica el carácter de ráfaga para las pérdidas ocasionadas, apreciándose efectos de la misma índole a los explicados mediante simulación. Específicamente, analizando las imágenes recibidas y reconstruidas al prescindir de algún método de robustez (transmisión secuencial), se verifica que las pérdidas de datos afectan directamente a la calidad de la imagen final, deteriorándola de forma considerable al aumentar las tasas de paquetes no recibidos.

Además del efecto producido por pérdidas en ráfaga, el proceso de transferencia de imágenes mediante un módulo real permite verificar la mejora alcanzada por los métodos de en-

trelazamiento por sobre la transmisión secuencial. También es observable la similitud en las imágenes finales al utilizar uno u otro método, sin embargo, existen diferencias al aumentar la tasa de pérdidas y mientras mayor sea el área afectada por éstas.

Al finalizar las pruebas simuladas y físicas, se ratifica la factibilidad de implementación de las técnicas analizadas en ambos casos, permitiendo el estudio de éstas, y posteriormente su aplicabilidad según las resoluciones obtenidas. Además, se verifica un mejor desempeño de los algoritmos de mezcla por sobre la transferencia secuencial, como también, el aumento en la calidad (simulación y pruebas reales) final de las imágenes transmitidas en ambientes propensos a pérdidas. Si bien, los indicadores para cada una de las técnicas de entrelazamiento analizadas resultan bastante similares, se determina que el desempeño de Torus destaca, ya que posee un mayor número de combinaciones de parámetros que generan buenos resultados.

Al concluir, existen tópicos no estudiados a considerarse en trabajos futuros. Uno de ellos, de importancia para aplicaciones basadas en WSN, es la evaluación de gastos energéticos asociados a la utilización de las técnicas propuestas, incrementados producto de la complejidad algorítmica. Este punto resulta relevante en implementaciones para las que no se considere el recambio de baterías, agregando mayor información para la elección de uno u otro método, según los objetivos definidos.

En cuanto a la continuidad del presente trabajo, producto del costo asociado a la valoración de nuevas técnicas de entrelazamiento, resulta beneficiosa alguna táctica que permita efectuar dicho proceso sin la necesidad de realizar pruebas exhaustiva sobre imágenes y patrones de pérdidas de ensayo. Idealmente, se propone el diseño de una función de evaluación para determinar la eficacia de algoritmos de entrelazamiento de bloques, facilitando la validación de nuevos métodos diseñados. Además, el contar con una herramienta de estas características, hace factible la determinación de parámetros óptimos⁶ para cada una de las técnicas de entrelazamiento estudiadas, logrando como fin último la definición de un patrón de mezcla que asegure la máxima calidad en la imagen transmitida, es decir, que cualquier otro genere resultados inferiores o iguales a éste.

⁶Fondecyt número 11121657 “Optimal packetization of still images in wireless vision sensor networks”

Bibliografía

- 4D-Systems. Serial jpg camera module ucam. 4D Systems, Septiembre 2012. URL <http://www.4dsystems.com.au/downloads/microCAM/uCAM/Docs/uCAM-Datasheet-REV1.pdf>. Revision 1.0.
- Ian F. Akyildiz, Tommaso Melodia, and Kaushik R. Chowdhury. A survey on wireless multimedia sensor networks. *Computer Networks*, 51(4):921 – 960, 2007. ISSN 1389-1286. doi: 10.1016/j.comnet.2006.10.002. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128606002751>.
- I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38(4):393 – 422, 2002. ISSN 1389-1286. doi: 10.1016/S1389-1286(01)00302-4. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128601003024>.
- N.A. Ali, M. Driberg, and P. Sebastian. Deployment of micaz mote for wireless sensor network applications. In *Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE), 2011 IEEE International Conference on*, pages 303–308, 2011. doi: 10.1109/ICCAIE.2011.6162150.
- A.I.C. Arce, A.R.B. Tech, A.C.S. Silva, and E.J.X. Costa. Monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos. *Archivos de Zootecnia*, 58:253–263, 2009.
- Paolo Baronti, Prashant Pillai, Vince W.C. Chook, Stefano Chessa, Alberto Gotta, and Y. Fun Hu. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and zigbee standards. *Computer Communications*, 30(7):1655 – 1695, 2007. ISSN 0140-3664. doi: 10.1016/j.comcom.2006.12.020. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366406004749>. wired/wireless Internet Communications.

- T.S. Chen, J. Chen, and J.G. Chen. A simple and efficient watermarking technique based on jpeg2000 codec. In *Fifth International Symposium on Multimedia Software Engineering*, pages 80–87, December 2003.
- CrossBow. *CrossBow "MICAz" datasheet*. URL http://www.openautomation.net/uploads/productos/micaz_datasheet.pdf. Document Part Number: 6020-0060-04 Rev A.
- Inc. Custom Computer Services, Marzo 2014. URL <http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compilers>.
- V. DeBrunner, L. DeBrunner, and Longji Wang. Recovery of lost blocks by dynamic pixel interleaving. In *Circuits and Systems, 1999. ISCAS '99. Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on*, volume 4, pages 131–134 vol.4, jul 1999. doi: 10.1109/ISCAS.1999.779959. URL <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=779959>.
- Digi, Marzo 2014. URL <http://www.digi.com/>.
- Cristian Duran-Faundez and Vincent Lecuire. Error resilient image communication with chaotic pixel interleaving for wireless camera sensors. In *Proceedings of the workshop on Real-world wireless sensor networks, REALWSN '08*, pages 21–25, New York, NY, USA, 2008. ACM. ISBN 978-1-60558-123-1. doi: 10.1145/1435473.1435480. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1435473.1435480>.
- Cristian Duran-Faundez, Vincent Lecuire, and Francis Lepage. Tiny block-size coding for energy-efficient image compression and communication in wireless camera sensor networks. *Signal Processing: Image Communication*, 26:466 – 481, 2011. ISSN 0923-5965. doi: 10.1016/j.image.2011.07.005. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923596511000890>.
- L. Ferrigno, S. Marano, V. Paciello, and A. Pietrosanto. Balancing computational and transmission power consumption in wireless image sensor networks. In *Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, 2005. VECIMS 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on*, page 6 pp., july 2005. doi: 10.1109/VECIMS.2005.1567564.
- M. J. Flores, V. D. Velasco, F. Flores G., and G. González C. Red inalámbrica de sensores para monitoreo de humedad enterrada. *Ibersensor*, Noviembre 2010. Libson, Portugal.

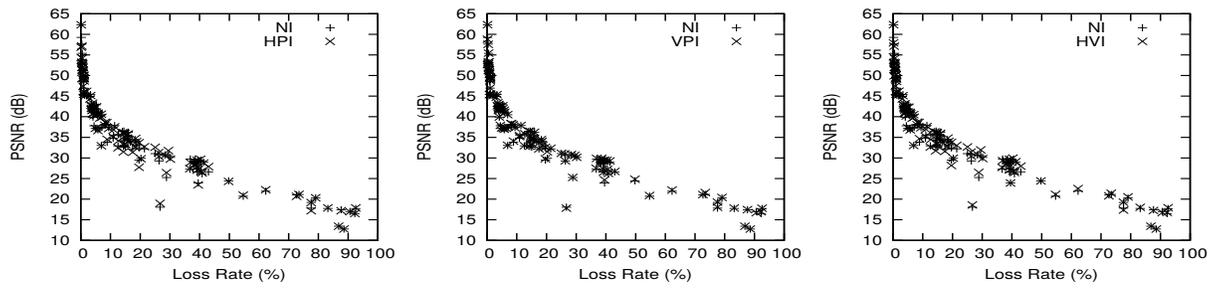
- Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. *Digital Image Processing*. Pearson Prentice Hall, 2002.
- Alfonso González, Natacha Leone, Mauricio Murdoch, Pablo Mazzara, and Julián Oreggioni. Sistema de medida en ambientes industriales basado en redes de sensores inalámbricos. *Universidad de la República, Montevideo, Uruguay*, 2010.
- A. Hore and D. Ziou. Image quality metrics: Psnr vs. ssim. In *Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on*, pages 2366–2369, 2010. doi: 10.1109/ICPR.2010.579.
- Digi International. Xbee™ znet 2.5/xbee-pro™ znet 2.5 oem rf modules. Digi International Inc., Noviembre 2008. URL ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/90000866_C.pdf.
- Vincent Lecuire and Cristian Duran-Faundez. Compression et transmission d’images sur réseaux de capteurs sans fil sous la contrainte de l’énergie. In *Journées automnales RES-COM*, October 2008.
- Microchip. Pic18f2455/2550/4455/4550 data sheet. Microchip, 2006. URL <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>.
- Héctor Ramos Morillo, Francisco Maciá Pérez, and Diego Marcos Jorquera. Redes inalámbricas de sensores inteligentes. aplicación a la monitorización de variables fisiológicas. In *III Jornada para el desarrollo de grandes aplicaciones de red (JDARE’06)*, Abril 2006.
- Abraham Menéndez Márquez, Juan José Pérez Solano, and José Pelegrí Sebastiá. Red de sensores inalámbricos para monitorización de terrenos mediante tecnología iee 802.15.4. *Universidad de València*, 2006.
- Eric Orellana-Romero, Javier SanMartin-Hernandez, Cristian Duran-Faundez, Vincent Lecuire, and Cristhian Aguilera. Sim-lit: A simulation framework for image quality assessment in wireless visual sensor networks under packet loss conditions. *XXX International Conference of the Chilean Computer Science Society*, 2011. URL http://jcc2011.usalca.cl/actas/SCCC/jcc2011_submission_13.pdf.
- E. J. Posnak, S. P. Gallindo, A. P. Stephens, and H. M. Vin. Techniques for resilient transmission of jpeg video streams. In *In Proceedings of Multimedia Computing and Networking*, pa-

- ges 243–252, Septiembre 1994. URL <http://www.eigence.com/downloads/Techniques.pdf>.
- University of Southern California SIPI. Sipi image database - volume 3: Miscellaneous, 2014. URL <http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc>. Last Visited: 06/03/2014.
- Stanislava Soro and Wendi Heinzelman. A survey of visual sensor networks. *Advances in Multimedia*, (640386):21 pages, 2009. doi: 10.1155/2009/640386. URL <http://www.hindawi.com/journals/am/2009/640386/>.
- J.A. Stankovic. Wireless sensor networks. *Computer*, 41(10):92–95, 2008. ISSN 0018-9162. doi: 10.1109/MC.2008.441.
- Charles J. Turner and Larry L. Peterson. Image transfer: an end-to-end design. In *Conference proceedings on Communications architectures & protocols*, SIGCOMM '92, pages 258–268, New York, NY, USA, 1992. ACM. ISBN 0-89791-525-9. doi: 10.1145/144179.144296. URL <http://doi.acm.org/10.1145/144179.144296>.
- Huaming Wu and Alhussein A. Abouzeid. Power aware image transmission in energy constrained wireless networks. In *Computers and Communications, 2004. Proceedings. ISCC 2004. Ninth International Symposium on*, volume 1, pages 202–207 Vol.1, 2004. doi: 10.1109/ISCC.2004.1358405.
- Wei Ye and John Heidemann and Deborah Estrin. Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12(3), June 2004.
- Zhen Zuo, Qin Lu, and Wusheng Luo. A two-hop clustered image transmission scheme for maximizing network lifetime in wireless multimedia sensor networks. *Computer Communications*, 35(1):100 – 108, 2012. ISSN 0140-3664. doi: 10.1016/j.comcom.2011.07.009. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366411002362>.

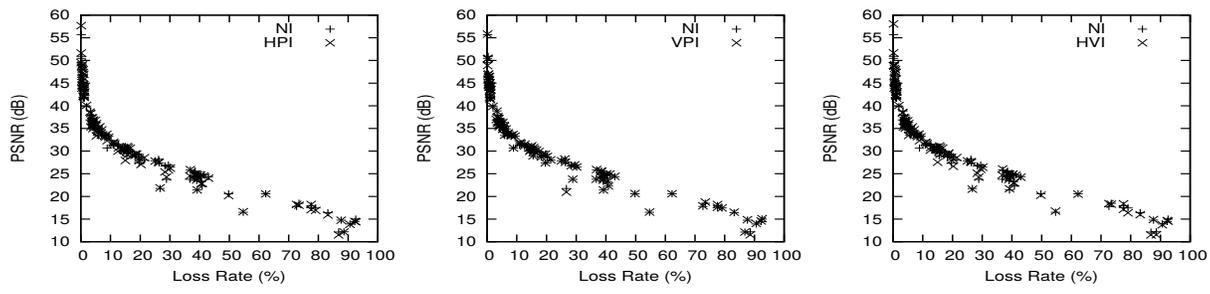
Apéndices

Apéndice A

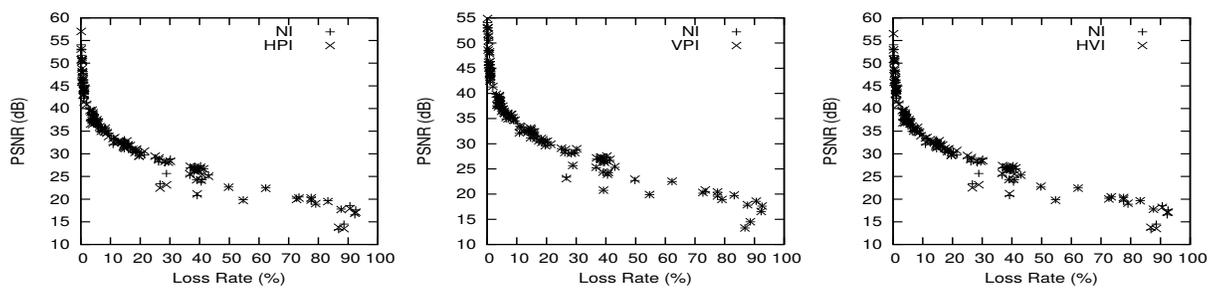
Resultados simulaciones métodos
DeBrunner *et. al*



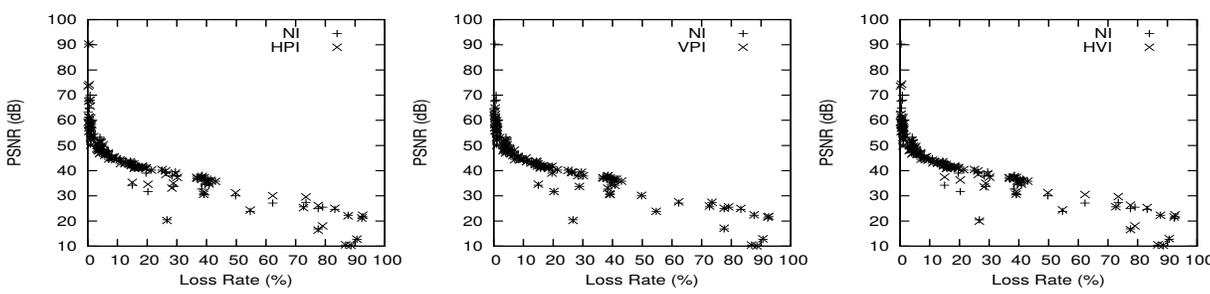
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura A.1: Resultados de las simulaciones para los métodos propuestos por DeBrunner *et al.*. (a) Imagen n° 4, (b) Imagen n° 25, (c) Imagen n° 31, (d) Imagen n° 40

Apéndice B

Imágenes utilizadas en experimentos

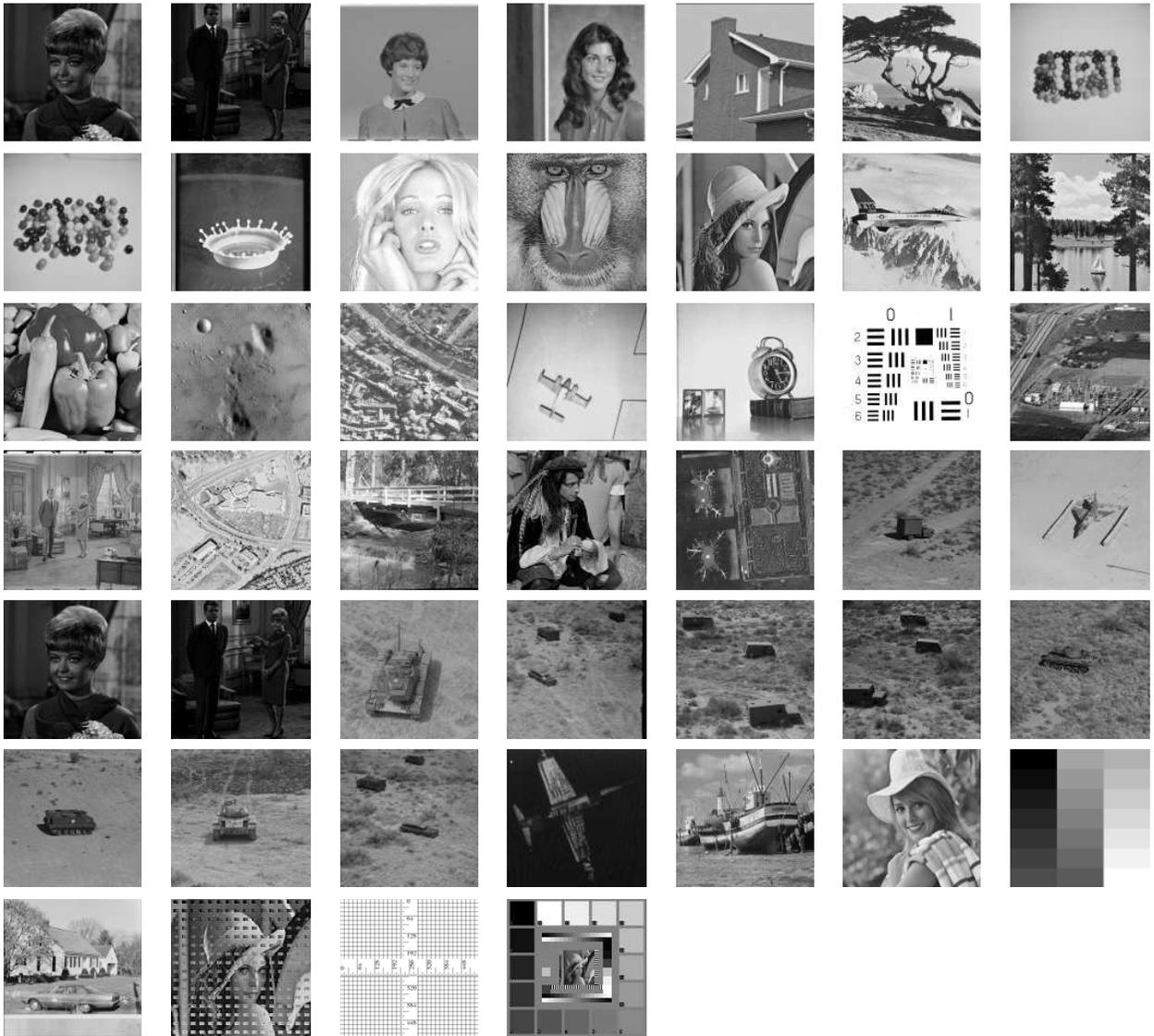


Figura B.1: Imágenes utilizadas en simulaciones (SIPI, 2014)

Apéndice C

Especificaciones en el diseño de nodos

En el Cuadro C.1 se listan los comandos necesarios para configurar el dispositivo de visión $\mu\text{cam-232}$, esto mediante la comunicación serial con algún componente que la controle.

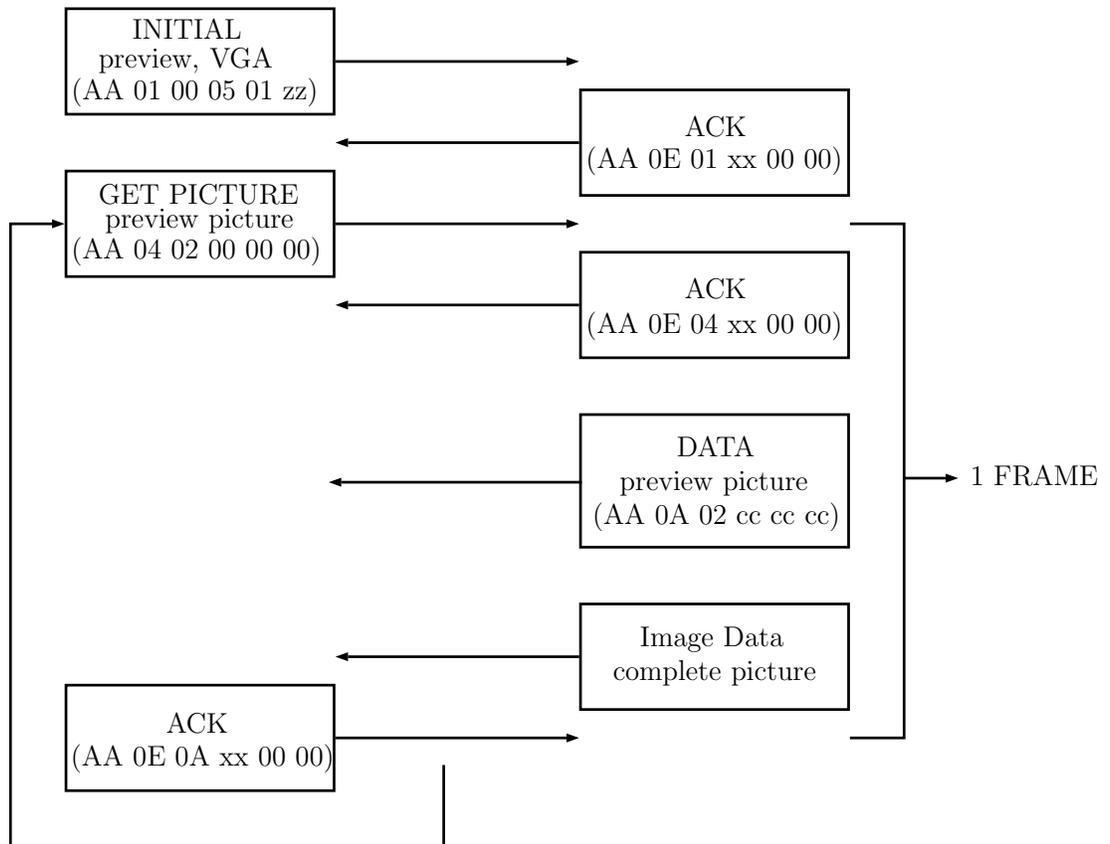
Cuadro C.1: Tabla de comandos $\mu\text{cam-232}$ (4D-Systems, 2012)

Comando	Id Number	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4
INITIAL	AA01h	00h	Colour Type	RAW Resolution	JPEG Resolution
GET PICTURE	AA04h	Picture Type	00h	00h	00h
SNAPSHOT	AA05h	Snapshot Type	Skip Frame (low)	Skip Frame (high)	00h
SET PACKAGE SIZE	AA06h	08h	Package Size (low)	Package Size (high)	00h
Set Baud Rate	AA07h	1 st Divider	2 nd Divider	00h	00h
RESET	AA08h	Reset Type	00h	00h	XXh*
DATA	AA0Ah	Data Type	Length Byte 0	Length Byte 1	Length Byte 2
SYNC	AA0Dh	00h	00h	00h	00h
ACK	AA0Eh	Command ID	ACK Counter	00h / Package ID Byte 0	00h / Package ID Byte 1
NAK	AA0Fh	00h	NAK Counter	Error Number	00h
LIGHT	AA13h	Frequency Type	00h	00h	00h

* Si el parámetro es FFh, el comando es un Reset especial y el módulo responde inmediatamente.

En la Figura C.1 se muestra la secuencia de comandos a seguir para recuperar una imagen capturada por la cámara. De esta forma, se detallan los comandos a enviar, mediante la interfaz serial, a la cámara y las tramas respondidas por esta.

En la Figura C.2 se muestra el esquema del circuito emisor para transmisión utilizando entrelazamiento imágenes.



NOTE:

xx : Do not care
 zz : 01, 03, 05 or 07 Do not care RAW mode
 cc : Image size returned by uCAM

Figura C.1: Ejemplo secuencia de comandos para recuperación de imágenes capturadas mediante μcam

Apéndice D

Parámetros acotados para el algoritmo de entrelazamiento Torus

Imagen: 32 x 32 píxeles / Payload: 27 bytes

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
n	32	24	16	24	32	12	8	12	32	24	16	24	32	6	4	6	32	24
k	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
n	16	24	32	12	8	12	32	24	16	24	32	3	4	6	32			

Imagen: 64 x 64 píxeles / Payload: 27 bytes

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
n	64	48	32	48	64	24	16	24	64	48	32	48	64	12	8	12	64	48
k	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
n	32	48	64	24	16	24	64	48	32	48	64	6	4	6	64	48	32	48
k	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
n	64	24	16	24	64	48	32	48	64	12	8	12	64	48	32	48	64	24
k	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64							
n	16	24	64	48	32	48	64	3	4	6	64							

Imagen: 128 x 128 píxeles / Payload: 27 bytes

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
n	128	96	64	96	128	48	32	48	128	96	64	96	128	24	16	24	128	96
k	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
n	64	96	128	48	32	48	128	96	64	96	128	12	8	12	128	96	64	96
k	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
n	128	48	32	48	128	96	64	96	128	24	16	24	128	96	64	96	128	48
k	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
n	32	48	128	96	64	96	128	6	4	6	128	96	64	96	128	48	32	48
k	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
n	128	96	64	96	128	24	16	24	128	96	64	96	128	48	32	48	128	96
k	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107
n	64	96	128	12	8	12	128	96	64	96	128	48	32	48	128	96	64	96
k	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
n	128	24	16	24	128	96	64	96	128	48	32	48	128	96	64	96	128	3
k	126	127	128															
n	4	6	128															

Imagen: 256 x 256 píxeles / Payload: 27 bytes

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
n	256	192	128	192	256	96	64	96	256	192	128	192	256	48	32	48	256	192
k	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
n	128	192	256	96	64	96	256	192	128	192	256	24	16	24	256	192	128	192
k	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
n	256	96	64	96	256	192	128	192	256	48	32	48	256	192	128	192	256	96
k	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
n	64	96	256	192	128	192	256	12	8	12	256	192	128	192	256	96	64	96
k	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
n	256	192	128	192	256	48	32	48	256	192	128	192	256	96	64	96	256	192
k	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107
n	128	192	256	24	16	24	256	192	128	192	256	96	64	96	256	192	128	192
k	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
n	256	48	32	48	256	192	128	192	256	96	64	96	256	192	128	192	256	6
k	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
n	4	6	256	192	128	192	256	96	64	96	256	192	128	192	256	48	32	48
k	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161
n	256	192	128	192	256	96	64	96	256	192	128	192	256	24	16	24	256	192
k	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179
n	128	192	256	96	64	96	256	192	128	192	256	48	32	48	256	192	128	192
k	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197
n	256	96	64	96	256	192	128	192	256	12	8	12	256	192	128	192	256	96
k	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215
n	64	96	256	192	128	192	256	48	32	48	256	192	128	192	256	96	64	96
k	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233
n	256	192	128	192	256	24	16	24	256	192	128	192	256	96	64	96	256	192
k	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251
n	128	192	256	48	32	48	256	192	128	192	256	96	64	96	256	192	128	192
k	252	253	254	255	256													
n	256	3	4	6	256													

Apéndice E

Parámetros válidos para el algoritmo de en entrelazamiento Turner and Peterson

Imagen: 128 x 128 píxeles / Payload: 27 bytes

bo	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
po	27	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675
bo	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51
po	729	783	837	891	945	999	1053	1107	1161	1215	1269	1323	1377
bo	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77
po	1431	1485	1539	1593	1647	1701	1755	1809	1863	1917	1971	2025	2079
bo	79	81	83	85	87	89	91	93	95	97	99	101	103
po	2133	2187	2241	2295	2349	2403	2457	2511	2565	2619	2673	2727	2781
bo	105	107	109	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129
po	2835	2889	2943	2997	3051	3105	3159	3213	3267	3321	3375	3429	3483
bo	131	133	135	137	139	141	143	145	147	149	151	153	155
po	3537	3591	3645	3699	3753	3807	3861	3915	3969	4023	4077	4131	4185
bo	157	159	161	163	165	167	169	171	173	175	177	179	181
po	4239	4293	4347	4401	4455	4509	4563	4617	4671	4725	4779	4833	4887
bo	183	185	187	189	191	193	195	197	199	201	203	205	207
po	4941	4995	5049	5103	5157	5211	5265	5319	5373	5427	5481	5535	5589
bo	209	211	213	215	217	219	221	223	225	227	229	231	233
po	5643	5697	5751	5805	5859	5913	5967	6021	6075	6129	6183	6237	6291
bo	235	237	239	241	243	245	247	249	251	253	255	257	259
po	6345	6399	6453	6507	6561	6615	6669	6723	6777	6831	6885	6939	6993
bo	261	263	265	267	269	271	273	275	277	279	281	283	285
po	7047	7101	7155	7209	7263	7317	7371	7425	7479	7533	7587	7641	7695
bo	287	289	291	293	295	297	299	301	303	305	307	309	311
po	7749	7803	7857	7911	7965	8019	8073	8127	8181	8235	8289	8343	8397
bo	313	315	317	319	321	323	325	327	329	331	333	335	337
po	8451	8505	8559	8613	8667	8721	8775	8829	8883	8937	8991	9045	9099
bo	339	341	343	345	347	349	351	353	355	357	359	361	363
po	9153	9207	9261	9315	9369	9423	9477	9531	9585	9639	9693	9747	9801
bo	365	367	369	371	373	375	377	379	381	383	385	387	389
po	9855	9909	9963	10017	10071	10125	10179	10233	10287	10341	10395	10449	10503
bo	391	393	395	397	399	401	403	405	407	409	411	413	415
po	10557	10611	10665	10719	10773	10827	10881	10935	10989	11043	11097	11151	11205
bo	417	419	421	423	425	427	429	431	433	435	437	439	441
po	11259	11313	11367	11421	11475	11529	11583	11637	11691	11745	11799	11853	11907
bo	443	445	447	449	451	453	455	457	459	461	463	465	467
po	11961	12015	12069	12123	12177	12231	12285	12339	12393	12447	12501	12555	12609
bo	469	471	473	475	477	479	481	483	485	487	489	491	493
po	12663	12717	12771	12825	12879	12933	12987	13041	13095	13149	13203	13257	13311
bo	495	497	499	501	503	505	507	509	511	513	515	517	519
po	13365	13419	13473	13527	13581	13635	13689	13743	13797	13851	13905	13959	14013
bo	521	523	525	527	529	531	533	535	537	539	541	543	545
po	14067	14121	14175	14229	14283	14337	14391	14445	14499	14553	14607	14661	14715

bo	547	549	551	553	555	557	559	561	563	565	567	569	571
po	14769	14823	14877	14931	14985	15039	15093	15147	15201	15255	15309	15363	15417
bo	573	575	577	579	581	583	585	587	589	591	593	595	597
po	15471	15525	15579	15633	15687	15741	15795	15849	15903	15957	16011	16065	16119
bo	599	601	603	605	607	609	611	613	615	617	619	621	623
po	16173	16227	16281	16335	5	59	113	167	221	275	329	383	437
bo	625	627	629	631	633	635	637	639	641	643	645	647	649
po	491	545	599	653	707	761	815	869	923	977	1031	1085	1139
bo	651	653	655	657	659	661	663	665	667	669	671	673	675
po	1193	1247	1301	1355	1409	1463	1517	1571	1625	1679	1733	1787	1841
bo	677	679	681	683	685	687	689	691	693	695	697	699	701
po	1895	1949	2003	2057	2111	2165	2219	2273	2327	2381	2435	2489	2543
bo	703	705	707	709	711	713	715	717	719	721	723	725	727
po	2597	2651	2705	2759	2813	2867	2921	2975	3029	3083	3137	3191	3245
bo	729	731	733	735	737	739	741	743	745	747	749	751	753
po	3299	3353	3407	3461	3515	3569	3623	3677	3731	3785	3839	3893	3947
bo	755	757	759	761	763	765	767	769	771	773	775	777	779
po	4001	4055	4109	4163	4217	4271	4325	4379	4433	4487	4541	4595	4649
bo	781	783	785	787	789	791	793	795	797	799	801	803	805
po	4703	4757	4811	4865	4919	4973	5027	5081	5135	5189	5243	5297	5351
bo	807	809	811	813	815	817	819	821	823	825	827	829	831
po	5405	5459	5513	5567	5621	5675	5729	5783	5837	5891	5945	5999	6053
bo	833	835	837	839	841	843	845	847	849	851	853	855	857
po	6107	6161	6215	6269	6323	6377	6431	6485	6539	6593	6647	6701	6755
bo	859	861	863	865	867	869	871	873	875	877	879	881	883
po	6809	6863	6917	6971	7025	7079	7133	7187	7241	7295	7349	7403	7457
bo	885	887	889	891	893	895	897	899	901	903	905	907	909
po	7511	7565	7619	7673	7727	7781	7835	7889	7943	7997	8051	8105	8159
bo	911	913	915	917	919	921	923	925	927	929	931	933	935
po	8213	8267	8321	8375	8429	8483	8537	8591	8645	8699	8753	8807	8861
bo	937	939	941	943	945	947	949	951	953	955	957	959	961
po	8915	8969	9023	9077	9131	9185	9239	9293	9347	9401	9455	9509	9563
bo	963	965	967	969	971	973	975	977	979	981	983	985	987
po	9617	9671	9725	9779	9833	9887	9941	9995	10049	10103	10157	10211	10265
bo	989	991	993	995	997	999	1001	1003	1005	1007	1009	1011	1013
po	10319	10373	10427	10481	10535	10589	10643	10697	10751	10805	10859	10913	10967
bo	1015	1017	1019	1021	1023	1025	1027	1029	1031	1033	1035	1037	1039
po	11021	11075	11129	11183	11237	11291	11345	11399	11453	11507	11561	11615	11669
bo	1041	1043	1045	1047	1049	1051	1053	1055	1057	1059	1061	1063	1065
po	11723	11777	11831	11885	11939	11993	12047	12101	12155	12209	12263	12317	12371
bo	1067	1069	1071	1073	1075	1077	1079	1081	1083	1085	1087	1089	1091
po	12425	12479	12533	12587	12641	12695	12749	12803	12857	12911	12965	13019	13073
bo	1093	1095	1097	1099	1101	1103	1105	1107	1109	1111	1113	1115	1117
po	13127	13181	13235	13289	13343	13397	13451	13505	13559	13613	13667	13721	13775
bo	1119	1121	1123	1125	1127	1129	1131	1133	1135	1137	1139	1141	1143
po	13829	13883	13937	13991	14045	14099	14153	14207	14261	14315	14369	14423	14477
bo	1145	1147	1149	1151	1153	1155	1157	1159	1161	1163	1165	1167	1169
po	14531	14585	14639	14693	14747	14801	14855	14909	14963	15017	15071	15125	15179
bo	1171	1173	1175	1177	1179	1181	1183	1185	1187	1189	1191	1193	1195
po	15233	15287	15341	15395	15449	15503	15557	15611	15665	15719	15773	15827	15881
bo	1197	1199	1201	1203	1205	1207	1209	1211	1213	1215	1217	1219	1221
po	15935	15989	16043	16097	16151	16205	16259	16313	16367	37	91	145	199
bo	1223	1225	1227	1229	1231	1233	1235	1237	1239	1241	1243	1245	1247
po	253	307	361	415	469	523	577	631	685	739	793	847	901
bo	1249	1251	1253	1255	1257	1259	1261	1263	1265	1267	1269	1271	1273
po	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603
bo	1275	1277	1279	1281	1283	1285	1287	1289	1291	1293	1295	1297	1299
po	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	2305
bo	1301	1303	1305	1307	1309	1311	1313	1315	1317	1319	1321	1323	1325
po	2359	2413	2467	2521	2575	2629	2683	2737	2791	2845	2899	2953	3007
bo	1327	1329	1331	1333	1335	1337	1339	1341	1343	1345	1347	1349	1351
po	3061	3115	3169	3223	3277	3331	3385	3439	3493	3547	3601	3655	3709
bo	1353	1355	1357	1359	1361	1363	1365	1367	1369	1371	1373	1375	1377
po	3763	3817	3871	3925	3979	4033	4087	4141	4195	4249	4303	4357	4411
bo	1379	1381	1383	1385	1387	1389	1391	1393	1395	1397	1399	1401	1403
po	4465	4519	4573	4627	4681	4735	4789	4843	4897	4951	5005	5059	5113
bo	1405	1407	1409	1411	1413	1415	1417	1419	1421	1423	1425	1427	1429
po	5167	5221	5275	5329	5383	5437	5491	5545	5599	5653	5707	5761	5815
bo	1431	1433	1435	1437	1439	1441	1443	1445	1447	1449	1451	1453	1455
po	5869	5923	5977	6031	6085	6139	6193	6247	6301	6355	6409	6463	6517
bo	1457	1459	1461	1463	1465	1467	1469	1471	1473	1475	1477	1479	1481
po	6571	6625	6679	6733	6787	6841	6895	6949	7003	7057	7111	7165	7219
bo	1483	1485	1487	1489	1491	1493	1495	1497	1499	1501	1503	1505	1507
po	7273	7327	7381	7435	7489	7543	7597	7651	7705	7759	7813	7867	7921
bo	1509	1511	1513	1515	1517	1519	1521	1523	1525	1527	1529	1531	1533
po	7975	8029	8083	8137	8191	8245	8299	8353	8407	8461	8515	8569	8623
bo	1535	1537	1539	1541	1543	1545	1547	1549	1551	1553	1555	1557	1559
po	8677	8731	8785	8839	8893	8947	9001	9055	9109	9163	9217	9271	9325
bo	1561	1563	1565	1567	1569	1571	1573	1575	1577	1579	1581	1583	1585
po	9379	9433	9487	9541	9595	9649	9703	9757	9811	9865	9919	9973	10027
bo	1587	1589	1591	1593	1595	1597							

bo	1665	1667	1669	1671	1673	1675	1677	1679	1681	1683	1685	1687	1689
po	12187	12241	12295	12349	12403	12457	12511	12565	12619	12673	12727	12781	12835
bo	1691	1693	1695	1697	1699	1701	1703	1705	1707	1709	1711	1713	1715
po	12889	12943	12997	13051	13105	13159	13213	13267	13321	13375	13429	13483	13537
bo	1717	1719	1721	1723	1725	1727	1729	1731	1733	1735	1737	1739	1741
po	13591	13645	13699	13753	13807	13861	13915	13969	14023	14077	14131	14185	14239
bo	1743	1745	1747	1749	1751	1753	1755	1757	1759	1761	1763	1765	1767
po	14293	14347	14401	14455	14509	14563	14617	14671	14725	14779	14833	14887	14941
bo	1769	1771	1773	1775	1777	1779	1781	1783	1785	1787	1789	1791	1793
po	14995	15049	15103	15157	15211	15265	15319	15373	15427	15481	15535	15589	15643
bo	1795	1797	1799	1801	1803	1805	1807	1809	1811	1813	1815	1817	1819
po	15697	15751	15805	15859	15913	15967	16021	16075	16129	16183	16237	16291	16345
bo	1821	1823	1825	1827	1829	1831	1833	1835	1837	1839	1841	1843	1845
po	15	69	123	177	231	285	339	393	447	501	555	609	663
bo	1847	1849	1851	1853	1855	1857	1859	1861	1863	1865	1867	1869	1871
po	717	771	825	879	933	987	1041	1095	1149	1203	1257	1311	1365
bo	1873	1875	1877	1879	1881	1883	1885	1887	1889	1891	1893	1895	1897
po	1419	1473	1527	1581	1635	1689	1743	1797	1851	1905	1959	2013	2067
bo	1899	1901	1903	1905	1907	1909	1911	1913	1915	1917	1919	1921	1923
po	2121	2175	2229	2283	2337	2391	2445	2499	2553	2607	2661	2715	2769
bo	1925	1927	1929	1931	1933	1935	1937	1939	1941	1943	1945	1947	1949
po	2823	2877	2931	2985	3039	3093	3147	3201	3255	3309	3363	3417	3471
bo	1951	1953	1955	1957	1959	1961	1963	1965	1967	1969	1971	1973	1975
po	3525	3579	3633	3687	3741	3795	3849	3903	3957	4011	4065	4119	4173
bo	1977	1979	1981	1983	1985	1987	1989	1991	1993	1995	1997	1999	2001
po	4227	4281	4335	4389	4443	4497	4551	4605	4659	4713	4767	4821	4875
bo	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019	2021	2023	2025	2027
po	4929	4983	5037	5091	5145	5199	5253	5307	5361	5415	5469	5523	5577
bo	2029	2031	2033	2035	2037	2039	2041	2043	2045	2047	2049	2051	2053
po	5631	5685	5739	5793	5847	5901	5955	6009	6063	6117	6171	6225	6279
bo	2055	2057	2059	2061	2063	2065	2067	2069	2071	2073	2075	2077	2079
po	6333	6387	6441	6495	6549	6603	6657	6711	6765	6819	6873	6927	6981
bo	2081	2083	2085	2087	2089	2091	2093	2095	2097	2099	2101	2103	2105
po	7035	7089	7143	7197	7251	7305	7359	7413	7467	7521	7575	7629	7683
bo	2107	2109	2111	2113	2115	2117	2119	2121	2123	2125	2127	2129	2131
po	7737	7791	7845	7899	7953	8007	8061	8115	8169	8223	8277	8331	8385
bo	2133	2135	2137	2139	2141	2143	2145	2147	2149	2151	2153	2155	2157
po	8439	8493	8547	8601	8655	8709	8763	8817	8871	8925	8979	9033	9087
bo	2159	2161	2163	2165	2167	2169	2171	2173	2175	2177	2179	2181	2183
po	9141	9195	9249	9303	9357	9411	9465	9519	9573	9627	9681	9735	9789
bo	2185	2187	2189	2191	2193	2195	2197	2199	2201	2203	2205	2207	2209
po	9843	9897	9951	10005	10059	10113	10167	10221	10275	10329	10383	10437	10491
bo	2211	2213	2215	2217	2219	2221	2223	2225	2227	2229	2231	2233	2235
po	10545	10599	10653	10707	10761	10815	10869	10923	10977	11031	11085	11139	11193
bo	2237	2239	2241	2243	2245	2247	2249	2251	2253	2255	2257	2259	2261
po	11247	11301	11355	11409	11463	11517	11571	11625	11679	11733	11787	11841	11895
bo	2263	2265	2267	2269	2271	2273	2275	2277	2279	2281	2283	2285	2287
po	11949	12003	12057	12111	12165	12219	12273	12327	12381	12435	12489	12543	12597
bo	2289	2291	2293	2295	2297	2299	2301	2303	2305	2307	2309	2311	2313
po	12651	12705	12759	12813	12867	12921	12975	13029	13083	13137	13191	13245	13299
bo	2315	2317	2319	2321	2323	2325	2327	2329	2331	2333	2335	2337	2339
po	13353	13407	13461	13515	13569	13623	13677	13731	13785	13839	13893	13947	14001
bo	2341	2343	2345	2347	2349	2351	2353	2355	2357	2359	2361	2363	2365
po	14055	14109	14163	14217	14271	14325	14379	14433	14487	14541	14595	14649	14703
bo	2367	2369	2371	2373	2375	2377	2379	2381	2383	2385	2387	2389	2391
po	14757	14811	14865	14919	14973	15027	15081	15135	15189	15243	15297	15351	15405
bo	2393	2395	2397	2399	2401	2403	2405	2407	2409	2411	2413	2415	2417
po	15459	15513	15567	15621	15675	15729	15783	15837	15891	15945	15999	16053	16107
bo	2419	2421	2423	2425	2427	2429	2431	2433	2435	2437	2439	2441	2443
po	16161	16215	16269	16323	16377	47	101	155	209	263	317	371	425
bo	2445	2447	2449	2451	2453	2455	2457	2459	2461	2463	2465	2467	2469
po	479	533	587	641	695	749	803	857	911	965	1019	1073	1127
bo	2471	2473	2475	2477	2479	2481	2483	2485	2487	2489	2491	2493	2495
po	1181	1235	1289	1343	1397	1451	1505	1559	1613	1667	1721	1775	1829
bo	2497	2499	2501	2503	2505	2507	2509	2511	2513	2515	2517	2519	2521
po	1883	1937	1991	2045	2099	2153	2207	2261	2315	2369	2423	2477	2531
bo	2523	2525	2527	2529	2531	2533	2535	2537	2539	2541	2543	2545	2547
po	2585	2639	2693	2747	2801	2855	2909	2963	3017	3071	3125	3179	3233
bo	2549	2551	2553	2555	2557	2559	2561	2563	2565	2567	2569	2571	2573
po	3287	3341	3395	3449	3503	3557	3611	3665	3719	3773	3827	3881	3935
bo	2575	2577	2579	2581	2583	2585	2587	2589	2591	2593	2595	2597	2599
po	3989	4043	4097	4151	4205	4259	4313	4367	4421	4475	4529	4583	4637
bo	2601	2603	2605	2607	2609	2611	2613	2615	2617	2619	2621	2623	2625
po	4691	4745	4799	4853	4907	4961	5015	5069	5123	5177	5231	5285	5339
bo	2627	2629	2631	2633	2635	2637	2639	2641	2643	2645	2647	2649	2651
po	5393	5447	5501	5555	5609	5663	5717	5771	5825	5879	5933	5987	6041
bo	2653	2655	2657	2659	2661	2663	2665	2667	2669	2671	2673	2675	2677
po	6095	6149	6203	6257	6311	6365	6419	6473	6527	6581	6635	6689	6743
bo	2679	2681	2683	2685	2687	2689	2691	2693	2695	2697	2699	2701	2703
po	6797	6851	6905	6959	7013	7067	7121	7175	7229	7283	7337	7391	7445
bo	2705	2707	2709	2711	2713	2715	2717	2719	2721	2723	2725	2727	2729
po	7499	7553	7607	7661	7715	7769	7823	7877	7931	7985	8039	8093	8147
bo	2731	2733	2735	2737	2739	2741	2743	2745	2747	2749	2751	2753	2755
po	8201	8255	8309	8363	8417	8471	8525	8579	8633	8687	8741	8795	8849
bo	2757	2759	2761	2763	2765	2767	2769	2771	2773	2775	2777	2779	2781
po	8903	8957	9011	9065	9119	9173	9227	9281	9335	9389	9443	9497	9551

bo	2783	2785	2787	2789	2791	2793	2795	2797	2799	2801	2803	2805	2807
po	9605	9659	9713	9767	9821	9875	9929	9983	10037	10091	10145	10199	10253
bo	2809	2811	2813	2815	2817	2819	2821	2823	2825	2827	2829	2831	2833
po	10307	10361	10415	10469	10523	10577	10631	10685	10739	10793	10847	10901	10955
bo	2835	2837	2839	2841	2843	2845	2847	2849	2851	2853	2855	2857	2859
po	11009	11063	11117	11171	11225	11279	11333	11387	11441	11495	11549	11603	11657
bo	2861	2863	2865	2867	2869	2871	2873	2875	2877	2879	2881	2883	2885
po	11711	11765	11819	11873	11927	11981	12035	12089	12143	12197	12251	12305	12359
bo	2887	2889	2891	2893	2895	2897	2899	2901	2903	2905	2907	2909	2911
po	12413	12467	12521	12575	12629	12683	12737	12791	12845	12899	12953	13007	13061
bo	2913	2915	2917	2919	2921	2923	2925	2927	2929	2931	2933	2935	2937
po	13115	13169	13223	13277	13331	13385	13439	13493	13547	13601	13655	13709	13763
bo	2939	2941	2943	2945	2947	2949	2951	2953	2955	2957	2959	2961	2963
po	13817	13871	13925	13979	14033	14087	14141	14195	14249	14303	14357	14411	14465
bo	2965	2967	2969	2971	2973	2975	2977	2979	2981	2983	2985	2987	2989
po	14519	14573	14627	14681	14735	14789	14843	14897	14951	15005	15059	15113	15167
bo	2991	2993	2995	2997	2999	3001	3003	3005	3007	3009	3011	3013	3015
po	15221	15275	15329	15383	15437	15491	15545	15599	15653	15707	15761	15815	15869
bo	3017	3019	3021	3023	3025	3027	3029	3031	3033	3035	3037	3039	3041
po	15923	15977	16031	16085	16139	16193	16247	16301	16355	25	79	133	187
bo	3043	3045	3047	3049	3051	3053	3055	3057	3059	3061	3063	3065	3067
po	241	295	349	403	457	511	565	619	673	727	781	835	889
bo	3069	3071	3073	3075	3077	3079	3081	3083	3085	3087	3089	3091	3093
po	943	997	1051	1105	1159	1213	1267	1321	1375	1429	1483	1537	1591
bo	3095	3097	3099	3101	3103	3105	3107	3109	3111	3113	3115	3117	3119
po	1645	1699	1753	1807	1861	1915	1969	2023	2077	2131	2185	2239	2293
bo	3121	3123	3125	3127	3129	3131	3133	3135	3137	3139	3141	3143	3145
po	2347	2401	2455	2509	2563	2617	2671	2725	2779	2833	2887	2941	2995
bo	3147	3149	3151	3153	3155	3157	3159	3161	3163	3165	3167	3169	3171
po	3049	3103	3157	3211	3265	3319	3373	3427	3481	3535	3589	3643	3697
bo	3173	3175	3177	3179	3181	3183	3185	3187	3189	3191	3193	3195	3197
po	3751	3805	3859	3913	3967	4021	4075	4129	4183	4237	4291	4345	4399
bo	3199	3201	3203	3205	3207	3209	3211	3213	3215	3217	3219	3221	3223
po	4453	4507	4561	4615	4669	4723	4777	4831	4885	4939	4993	5047	5101
bo	3225	3227	3229	3231	3233	3235	3237	3239	3241	3243	3245	3247	3249
po	5155	5209	5263	5317	5371	5425	5479	5533	5587	5641	5695	5749	5803
bo	3251	3253	3255	3257	3259	3261	3263	3265	3267	3269	3271	3273	3275
po	5857	5911	5965	6019	6073	6127	6181	6235	6289	6343	6397	6451	6505
bo	3277	3279	3281	3283	3285	3287	3289	3291	3293	3295	3297	3299	3301
po	6559	6613	6667	6721	6775	6829	6883	6937	6991	7045	7099	7153	7207
bo	3303	3305	3307	3309	3311	3313	3315	3317	3319	3321	3323	3325	3327
po	7261	7315	7369	7423	7477	7531	7585	7639	7693	7747	7801	7855	7909
bo	3329	3331	3333	3335	3337	3339	3341	3343	3345	3347	3349	3351	3353
po	7963	8017	8071	8125	8179	8233	8287	8341	8395	8449	8503	8557	8611
bo	3355	3357	3359	3361	3363	3365	3367	3369	3371	3373	3375	3377	3379
po	8665	8719	8773	8827	8881	8935	8989	9043	9097	9151	9205	9259	9313
bo	3381	3383	3385	3387	3389	3391	3393	3395	3397	3399	3401	3403	3405
po	9367	9421	9475	9529	9583	9637	9691	9745	9799	9853	9907	9961	10015
bo	3407	3409	3411	3413	3415	3417	3419	3421	3423	3425	3427	3429	3431
po	10069	10123	10177	10231	10285	10339	10393	10447	10501	10555	10609	10663	10717
bo	3433	3435	3437	3439	3441	3443	3445	3447	3449	3451	3453	3455	3457
po	10771	10825	10879	10933	10987	11041	11095	11149	11203	11257	11311	11365	11419
bo	3459	3461	3463	3465	3467	3469	3471	3473	3475	3477	3479	3481	3483
po	11473	11527	11581	11635	11689	11743	11797	11851	11905	11959	12013	12067	12121
bo	3485	3487	3489	3491	3493	3495	3497	3499	3501	3503	3505	3507	3509
po	12175	12229	12283	12337	12391	12445	12499	12553	12607	12661	12715	12769	12823
bo	3511	3513	3515	3517	3519	3521	3523	3525	3527	3529	3531	3533	3535
po	12877	12931	12985	13039	13093	13147	13201	13255	13309	13363	13417	13471	13525
bo	3537	3539	3541	3543	3545	3547	3549	3551	3553	3555	3557	3559	3561
po	13579	13633	13687	13741	13795	13849	13903	13957	14011	14065	14119	14173	14227
bo	3563	3565	3567	3569	3571	3573	3575	3577	3579	3581	3583	3585	3587
po	14281	14335	14389	14443	14497	14551	14605	14659	14713	14767	14821	14875	14929
bo	3589	3591	3593	3595	3597	3599	3601	3603	3605	3607	3609	3611	3613
po	14983	15037	15091	15145	15199	15253	15307	15361	15415	15469	15523	15577	15631
bo	3615	3617	3619	3621	3623	3625	3627	3629	3631	3633	3635	3637	3639
po	15685	15739	15793	15847	15901	15955	16009	16063	16117	16171	16225	16279	16333
bo	3641	3643	3645	3647	3649	3651	3653	3655	3657	3659	3661	3663	3665
po	3	57	111	165	219	273	327	381	435	489	543	597	651
bo	3667	3669	3671	3673	3675	3677	3679	3681	3683	3685	3687	3689	3691
po	705	759	813	867	921	975	1029	1083	1137	1191	1245	1299	1353
bo	3693	3695	3697	3699	3701	3703	3705	3707	3709	3711	3713	3715	3717
po	1407	1461	1515	1569	1623	1677	1731	1785	1839	1893	1947	2001	2055
bo	3719	3721	3723	3725	3727	3729	3731	3733	3735	3737	3739	3741	3743
po	2109	2163	2217	2271	2325	2379	2433	2487	2541	2595	2649	2703	2757
bo	3745	3747	3749	3751	3753	3755	3757	3759	3761	3763	3765	3767	3769
po	2811	2865	2919	2973	3027	3081	3135	3189	3243	3297	3351	3405	3459
bo	3771	3773	3775	3777	3779	3781	3783	3785	3787	3789	3791	3793	3795
po	3513	3567	3621	3675	3729	3783	3837	3891	3945	3999	4053	4107	4161
bo	3797	3799	3801	3803	3805	3807	3809	3811	3813	3815	3817	3819	3821
po	4215	4269	4323	4377	4431	4485	4539	4593	4647	4701	4755	4809	4863
bo	3823	3825	3827	3829	3831	3833	3835	3837	3839	3841	3843	3845	3847
po	4917	4971	5025	5079	5133	5187	5241	5295	5349	5403	5457	5511	5565
bo	3849	3851	3853	3855	3857	3859	3861	3863	3865	3867	3869	3871	3873
po	5619	5673	5727	5781	5835	5889	5943	5997	6051	6105	6159	6213	6267
bo	3875	3877	3879	3881	3883	3885	3887	3889	3891	3893	3895	3897	3899
po	6321	6375	6429	6483	6537	6591	6645	6699	6753	6807	6861	6915	6969

bo	3901	3903	3905	3907	3909	3911	3913	3915	3917	3919	3921	3923	3925
po	7023	7077	7131	7185	7239	7293	7347	7401	7455	7509	7563	7617	7671
bo	3927	3929	3931	3933	3935	3937	3939	3941	3943	3945	3947	3949	3951
po	7725	7779	7833	7887	7941	7995	8049	8103	8157	8211	8265	8319	8373
bo	3953	3955	3957	3959	3961	3963	3965	3967	3969	3971	3973	3975	3977
po	8427	8481	8535	8589	8643	8697	8751	8805	8859	8913	8967	9021	9075
bo	3979	3981	3983	3985	3987	3989	3991	3993	3995	3997	3999	4001	4003
po	9129	9183	9237	9291	9345	9399	9453	9507	9561	9615	9669	9723	9777
bo	4005	4007	4009	4011	4013	4015	4017	4019	4021	4023	4025	4027	4029
po	9831	9885	9939	9993	10047	10101	10155	10209	10263	10317	10371	10425	10479
bo	4031	4033	4035	4037	4039	4041	4043	4045	4047	4049	4051	4053	4055
po	10533	10587	10641	10695	10749	10803	10857	10911	10965	11019	11073	11127	11181
bo	4057	4059	4061	4063	4065	4067	4069	4071	4073	4075	4077	4079	4081
po	11235	11289	11343	11397	11451	11505	11559	11613	11667	11721	11775	11829	11883
bo	4083	4085	4087	4089	4091	4093	4095	4097	4099	4101	4103	4105	4107
po	11937	11991	12045	12099	12153	12207	12261	12315	12369	12423	12477	12531	12585
bo	4109	4111	4113	4115	4117	4119	4121	4123	4125	4127	4129	4131	4133
po	12639	12693	12747	12801	12855	12909	12963	13017	13071	13125	13179	13233	13287
bo	4135	4137	4139	4141	4143	4145	4147	4149	4151	4153	4155	4157	4159
po	13341	13395	13449	13503	13557	13611	13665	13719	13773	13827	13881	13935	13989
bo	4161	4163	4165	4167	4169	4171	4173	4175	4177	4179	4181	4183	4185
po	14043	14097	14151	14205	14259	14313	14367	14421	14475	14529	14583	14637	14691
bo	4187	4189	4191	4193	4195	4197	4199	4201	4203	4205	4207	4209	4211
po	14745	14799	14853	14907	14961	15015	15069	15123	15177	15231	15285	15339	15393
bo	4213	4215	4217	4219	4221	4223	4225	4227	4229	4231	4233	4235	4237
po	15447	15501	15555	15609	15663	15717	15771	15825	15879	15933	15987	16041	16095
bo	4239	4241	4243	4245	4247	4249	4251	4253	4255	4257	4259	4261	4263
po	16149	16203	16257	16311	16365	35	89	143	197	251	305	359	413
bo	4265	4267	4269	4271	4273	4275	4277	4279	4281	4283	4285	4287	4289
po	467	521	575	629	683	737	791	845	899	953	1007	1061	1115
bo	4291	4293	4295	4297	4299	4301	4303	4305	4307	4309	4311	4313	4315
po	1169	1223	1277	1331	1385	1439	1493	1547	1601	1655	1709	1763	1817
bo	4317	4319	4321	4323	4325	4327	4329	4331	4333	4335	4337	4339	4341
po	1871	1925	1979	2033	2087	2141	2195	2249	2303	2357	2411	2465	2519
bo	4343	4345	4347	4349	4351	4353	4355	4357	4359	4361	4363	4365	4367
po	2573	2627	2681	2735	2789	2843	2897	2951	3005	3059	3113	3167	3221
bo	4369	4371	4373	4375	4377	4379	4381	4383	4385	4387	4389	4391	4393
po	3275	3329	3383	3437	3491	3545	3599	3653	3707	3761	3815	3869	3923
bo	4395	4397	4399	4401	4403	4405	4407	4409	4411	4413	4415	4417	4419
po	3977	4031	4085	4139	4193	4247	4301	4355	4409	4463	4517	4571	4625
bo	4421	4423	4425	4427	4429	4431	4433	4435	4437	4439	4441	4443	4445
po	4679	4733	4787	4841	4895	4949	5003	5057	5111	5165	5219	5273	5327
bo	4447	4449	4451	4453	4455	4457	4459	4461	4463	4465	4467	4469	4471
po	5381	5435	5489	5543	5597	5651	5705	5759	5813	5867	5921	5975	6029
bo	4473	4475	4477	4479	4481	4483	4485	4487	4489	4491	4493	4495	4497
po	6083	6137	6191	6245	6299	6353	6407	6461	6515	6569	6623	6677	6731
bo	4499	4501	4503	4505	4507	4509	4511	4513	4515	4517	4519	4521	4523
po	6785	6839	6893	6947	7001	7055	7109	7163	7217	7271	7325	7379	7433
bo	4525	4527	4529	4531	4533	4535	4537	4539	4541	4543	4545	4547	4549
po	7487	7541	7595	7649	7703	7757	7811	7865	7919	7973	8027	8081	8135
bo	4551	4553	4555	4557	4559	4561	4563	4565	4567	4569	4571	4573	4575
po	8189	8243	8297	8351	8405	8459	8513	8567	8621	8675	8729	8783	8837
bo	4577	4579	4581	4583	4585	4587	4589	4591	4593	4595	4597	4599	4601
po	8891	8945	8999	9053	9107	9161	9215	9269	9323	9377	9431	9485	9539
bo	4603	4605	4607	4609	4611	4613	4615	4617	4619	4621	4623	4625	4627
po	9593	9647	9701	9755	9809	9863	9917	9971	10025	10079	10133	10187	10241
bo	4629	4631	4633	4635	4637	4639	4641	4643	4645	4647	4649	4651	4653
po	10295	10349	10403	10457	10511	10565	10619	10673	10727	10781	10835	10889	10943
bo	4655	4657	4659	4661	4663	4665	4667	4669	4671	4673	4675	4677	4679
po	10997	11051	11105	11159	11213	11267	11321	11375	11429	11483	11537	11591	11645
bo	4681	4683	4685	4687	4689	4691	4693	4695	4697	4699	4701	4703	4705
po	11699	11753	11807	11861	11915	11969	12023	12077	12131	12185	12239	12293	12347
bo	4707	4709	4711	4713	4715	4717	4719	4721	4723	4725	4727	4729	4731
po	12401	12455	12509	12563	12617	12671	12725	12779	12833	12887	12941	12995	13049
bo	4733	4735	4737	4739	4741	4743	4745	4747	4749	4751	4753	4755	4757
po	13103	13157	13211	13265	13319	13373	13427	13481	13535	13589	13643	13697	13751
bo	4759	4761	4763	4765	4767	4769	4771	4773	4775	4777	4779	4781	4783
po	13805	13859	13913	13967	14021	14075	14129	14183	14237	14291	14345	14399	14453
bo	4785	4787	4789	4791	4793	4795	4797	4799	4801	4803	4805	4807	4809
po	14507	14561	14615	14669	14723	14777	14831	14885	14939	14993	15047	15101	15155
bo	4811	4813	4815	4817	4819	4821	4823	4825	4827	4829	4831	4833	4835
po	15209	15263	15317	15371	15425	15479	15533	15587	15641	15695	15749	15803	15857
bo	4837	4839	4841	4843	4845	4847	4849	4851	4853	4855	4857	4859	4861
po	15911	15965	16019	16073	16127	16181	16235	16289	16343	13	67	121	175
bo	4863	4865	4867	4869	4871	4873	4875	4877	4879	4881	4883	4885	4887
po	229	283	337	391	445	499	553	607	661	715	769	823	877
bo	4889	4891	4893	4895	4897	4899	4901	4903	4905	4907	4909	4911	4913
po	931	985	1039	1093	1147	1201	1255	1309	1363	1417	1471	1525	1579
bo	4915	4917	4919	4921	4923	4925	4927	4929	4931	4933	4935	4937	4939
po	1633	1687	1741	1795	1849	1903	1957	2011	2065	2119	2173	2227	2281
bo	4941	4943	4945	4947	4949	4951	4953	4955	4957	4959	4961	4963	4965
po	2335	2389	2443	2497	2551	2605	2659	2713	2767	2821	2875	2929	2983
bo	4967	4969	4971	4973	4975	4977	4979	4981	4983	4985	4987	4989	4991
po	3037	3091	3145	3199	3253	3307	3361	3415	3469	3523	3577	3631	3685
bo	4993	4995	4997	4999	5001	5003	5005	5007	5009	5011	5013	5015	5017
po	3739	3793	3847	3901	3955	4009	4063	4117	4171	4225	4279	4333	4387

bo	5019	5021	5023	5025	5027	5029	5031	5033	5035	5037	5039	5041	5043
po	4441	4495	4549	4603	4657	4711	4765	4819	4873	4927	4981	5035	5089
bo	5045	5047	5049	5051	5053	5055	5057	5059	5061	5063	5065	5067	5069
po	5143	5197	5251	5305	5359	5413	5467	5521	5575	5629	5683	5737	5791
bo	5071	5073	5075	5077	5079	5081	5083	5085	5087	5089	5091	5093	5095
po	5845	5899	5953	6007	6061	6115	6169	6223	6277	6331	6385	6439	6493
bo	5097	5099	5101	5103	5105	5107	5109	5111	5113	5115	5117	5119	5121
po	6547	6601	6655	6709	6763	6817	6871	6925	6979	7033	7087	7141	7195
bo	5123	5125	5127	5129	5131	5133	5135	5137	5139	5141	5143	5145	5147
po	7249	7303	7357	7411	7465	7519	7573	7627	7681	7735	7789	7843	7897
bo	5149	5151	5153	5155	5157	5159	5161	5163	5165	5167	5169	5171	5173
po	7951	8005	8059	8113	8167	8221	8275	8329	8383	8437	8491	8545	8599
bo	5175	5177	5179	5181	5183	5185	5187	5189	5191	5193	5195	5197	5199
po	8653	8707	8761	8815	8869	8923	8977	9031	9085	9139	9193	9247	9301
bo	5201	5203	5205	5207	5209	5211	5213	5215	5217	5219	5221	5223	5225
po	9355	9409	9463	9517	9571	9625	9679	9733	9787	9841	9895	9949	10003
bo	5227	5229	5231	5233	5235	5237	5239	5241	5243	5245	5247	5249	5251
po	10057	10111	10165	10219	10273	10327	10381	10435	10489	10543	10597	10651	10705
bo	5253	5255	5257	5259	5261	5263	5265	5267	5269	5271	5273	5275	5277
po	10759	10813	10867	10921	10975	11029	11083	11137	11191	11245	11299	11353	11407
bo	5279	5281	5283	5285	5287	5289	5291	5293	5295	5297	5299	5301	5303
po	11461	11515	11569	11623	11677	11731	11785	11839	11893	11947	12001	12055	12109
bo	5305	5307	5309	5311	5313	5315	5317	5319	5321	5323	5325	5327	5329
po	12163	12217	12271	12325	12379	12433	12487	12541	12595	12649	12703	12757	12811
bo	5331	5333	5335	5337	5339	5341	5343	5345	5347	5349	5351	5353	5355
po	12865	12919	12973	13027	13081	13135	13189	13243	13297	13351	13405	13459	13513
bo	5357	5359	5361	5363	5365	5367	5369	5371	5373	5375	5377	5379	5381
po	13567	13621	13675	13729	13783	13837	13891	13945	13999	14053	14107	14161	14215
bo	5383	5385	5387	5389	5391	5393	5395	5397	5399	5401	5403	5405	5407
po	14269	14323	14377	14431	14485	14539	14593	14647	14701	14755	14809	14863	14917
bo	5409	5411	5413	5415	5417	5419	5421	5423	5425	5427	5429	5431	5433
po	14971	15025	15079	15133	15187	15241	15295	15349	15403	15457	15511	15565	15619
bo	5435	5437	5439	5441	5443	5445	5447	5449	5451	5453	5455	5457	5459
po	15673	15727	15781	15835	15889	15943	15997	16051	16105	16159	16213	16267	16321
bo	5461	5463	5465	5467	5469	5471	5473	5475	5477	5479	5481	5483	5485
po	16375	45	99	153	207	261	315	369	423	477	531	585	639
bo	5487	5489	5491	5493	5495	5497	5499	5501	5503	5505	5507	5509	5511
po	693	747	801	855	909	963	1017	1071	1125	1179	1233	1287	1341
bo	5513	5515	5517	5519	5521	5523	5525	5527	5529	5531	5533	5535	5537
po	1395	1449	1503	1557	1611	1665	1719	1773	1827	1881	1935	1989	2043
bo	5539	5541	5543	5545	5547	5549	5551	5553	5555	5557	5559	5561	5563
po	2097	2151	2205	2259	2313	2367	2421	2475	2529	2583	2637	2691	2745
bo	5565	5567	5569	5571	5573	5575	5577	5579	5581	5583	5585	5587	5589
po	2799	2853	2907	2961	3015	3069	3123	3177	3231	3285	3339	3393	3447
bo	5591	5593	5595	5597	5599	5601	5603	5605	5607	5609	5611	5613	5615
po	3501	3555	3609	3663	3717	3771	3825	3879	3933	3987	4041	4095	4149
bo	5617	5619	5621	5623	5625	5627	5629	5631	5633	5635	5637	5639	5641
po	4203	4257	4311	4365	4419	4473	4527	4581	4635	4689	4743	4797	4851
bo	5643	5645	5647	5649	5651	5653	5655	5657	5659	5661	5663	5665	5667
po	4905	4959	5013	5067	5121	5175	5229	5283	5337	5391	5445	5499	5553
bo	5669	5671	5673	5675	5677	5679	5681	5683	5685	5687	5689	5691	5693
po	5607	5661	5715	5769	5823	5877	5931	5985	6039	6093	6147	6201	6255
bo	5695	5697	5699	5701	5703	5705	5707	5709	5711	5713	5715	5717	5719
po	6309	6363	6417	6471	6525	6579	6633	6687	6741	6795	6849	6903	6957
bo	5721	5723	5725	5727	5729	5731	5733	5735	5737	5739	5741	5743	5745
po	7011	7065	7119	7173	7227	7281	7335	7389	7443	7497	7551	7605	7659
bo	5747	5749	5751	5753	5755	5757	5759	5761	5763	5765	5767	5769	5771
po	7713	7767	7821	7875	7929	7983	8037	8091	8145	8199	8253	8307	8361
bo	5773	5775	5777	5779	5781	5783	5785	5787	5789	5791	5793	5795	5797
po	8415	8469	8523	8577	8631	8685	8739	8793	8847	8901	8955	9009	9063
bo	5799	5801	5803	5805	5807	5809	5811	5813	5815	5817	5819	5821	5823
po	9117	9171	9225	9279	9333	9387	9441	9495	9549	9603	9657	9711	9765
bo	5825	5827	5829	5831	5833	5835	5837	5839	5841	5843	5845	5847	5849
po	9819	9873	9927	9981	10035	10089	10143	10197	10251	10305	10359	10413	10467
bo	5851	5853	5855	5857	5859	5861	5863	5865	5867	5869	5871	5873	5875
po	10521	10575	10629	10683	10737	10791	10845	10899	10953	11007	11061	11115	11169
bo	5877	5879	5881	5883	5885	5887	5889	5891	5893	5895	5897	5899	5901
po	11223	11277	11331	11385	11439	11493	11547	11601	11655	11709	11763	11817	11871
bo	5903	5905	5907	5909	5911	5913	5915	5917	5919	5921	5923	5925	5927
po	11925	11979	12033	12087	12141	12195	12249	12303	12357	12411	12465	12519	12573
bo	5929	5931	5933	5935	5937	5939	5941	5943	5945	5947	5949	5951	5953
po	12627	12681	12735	12789	12843	12897	12951	13005	13059	13113	13167	13221	13275
bo	5955	5957	5959	5961	5963	5965	5967	5969	5971	5973	5975	5977	5979
po	13329	13383	13437	13491	13545	13599	13653	13707	13761	13815	13869	13923	13977
bo	5981	5983	5985	5987	5989	5991	5993	5995	5997	5999	6001	6003	6005
po	14031	14085	14139	14193	14247	14301	14355	14409	14463	14517	14571	14625	14679
bo	6007	6009	6011	6013	6015	6017	6019	6021	6023	6025	6027	6029	6031
po	14733	14787	14841	14895	14949	15003	15057	15111	15165	15219	15273	15327	15381
bo	6033	6035	6037	6039	6041	6043	6045	6047	6049	6051	6053	6055	6057
po	15435	15489	15543	15597	15651	15705	15759	15813	15867	15921	15975	16029	16083
bo	6059	6061	6063	6065	6067	6069	6071	6073	6075	6077	6079	6081	6083
po	16137	16191	16245	16299	16353	23	77	131	185	239	293	347	401
bo	6085	6087	6089	6091	6093	6095	6097	6099	6101	6103	6105	6107	6109
po	455	509	563	617	671	725	779	833	887	941	995	1049	1103
bo	6111	6113	6115	6117	6119	6121	6123	6125	6127	6129	6131	6133	6135
po	1157	1211	1265	1319	1373	1427	1481	1535	1589	1643	1697	1751	1805

bo	6137	6139	6141	6143	6145	6147	6149	6151	6153	6155	6157	6159	6161
po	1859	1913	1967	2021	2075	2129	2183	2237	2291	2345	2399	2453	2507
bo	6163	6165	6167	6169	6171	6173	6175	6177	6179	6181	6183	6185	6187
po	2561	2615	2669	2723	2777	2831	2885	2939	2993	3047	3101	3155	3209
bo	6189	6191	6193	6195	6197	6199	6201	6203	6205	6207	6209	6211	6213
po	3263	3317	3371	3425	3479	3533	3587	3641	3695	3749	3803	3857	3911
bo	6215	6217	6219	6221	6223	6225	6227	6229	6231	6233	6235	6237	6239
po	3965	4019	4073	4127	4181	4235	4289	4343	4397	4451	4505	4559	4613
bo	6241	6243	6245	6247	6249	6251	6253	6255	6257	6259	6261	6263	6265
po	4667	4721	4775	4829	4883	4937	4991	5045	5099	5153	5207	5261	5315
bo	6267	6269	6271	6273	6275	6277	6279	6281	6283	6285	6287	6289	6291
po	5369	5423	5477	5531	5585	5639	5693	5747	5801	5855	5909	5963	6017
bo	6293	6295	6297	6299	6301	6303	6305	6307	6309	6311	6313	6315	6317
po	6071	6125	6179	6233	6287	6341	6395	6449	6503	6557	6611	6665	6719
bo	6319	6321	6323	6325	6327	6329	6331	6333	6335	6337	6339	6341	6343
po	6773	6827	6881	6935	6989	7043	7097	7151	7205	7259	7313	7367	7421
bo	6345	6347	6349	6351	6353	6355	6357	6359	6361	6363	6365	6367	6369
po	7475	7529	7583	7637	7691	7745	7799	7853	7907	7961	8015	8069	8123
bo	6371	6373	6375	6377	6379	6381	6383	6385	6387	6389	6391	6393	6395
po	8177	8231	8285	8339	8393	8447	8501	8555	8609	8663	8717	8771	8825
bo	6397	6399	6401	6403	6405	6407	6409	6411	6413	6415	6417	6419	6421
po	8879	8933	8987	9041	9095	9149	9203	9257	9311	9365	9419	9473	9527
bo	6423	6425	6427	6429	6431	6433	6435	6437	6439	6441	6443	6445	6447
po	9581	9635	9689	9743	9797	9851	9905	9959	10013	10067	10121	10175	10229
bo	6449	6451	6453	6455	6457	6459	6461	6463	6465	6467	6469	6471	6473
po	10283	10337	10391	10445	10499	10553	10607	10661	10715	10769	10823	10877	10931
bo	6475	6477	6479	6481	6483	6485	6487	6489	6491	6493	6495	6497	6499
po	10985	11039	11093	11147	11201	11255	11309	11363	11417	11471	11525	11579	11633
bo	6501	6503	6505	6507	6509	6511	6513	6515	6517	6519	6521	6523	6525
po	11687	11741	11795	11849	11903	11957	12011	12065	12119	12173	12227	12281	12335
bo	6527	6529	6531	6533	6535	6537	6539	6541	6543	6545	6547	6549	6551
po	12389	12443	12497	12551	12605	12659	12713	12767	12821	12875	12929	12983	13037
bo	6553	6555	6557	6559	6561	6563	6565	6567	6569	6571	6573	6575	6577
po	13091	13145	13199	13253	13307	13361	13415	13469	13523	13577	13631	13685	13739
bo	6579	6581	6583	6585	6587	6589	6591	6593	6595	6597	6599	6601	6603
po	13793	13847	13901	13955	14009	14063	14117	14171	14225	14279	14333	14387	14441
bo	6605	6607	6609	6611	6613	6615	6617	6619	6621	6623	6625	6627	6629
po	14495	14549	14603	14657	14711	14765	14819	14873	14927	14981	15035	15089	15143
bo	6631	6633	6635	6637	6639	6641	6643	6645	6647	6649	6651	6653	6655
po	15197	15251	15305	15359	15413	15467	15521	15575	15629	15683	15737	15791	15845
bo	6657	6659	6661	6663	6665	6667	6669	6671	6673	6675	6677	6679	6681
po	15899	15953	16007	16061	16115	16169	16223	16277	16331	1	55	109	163
bo	6683	6685	6687	6689	6691	6693	6695	6697	6699	6701	6703	6705	6707
po	217	271	325	379	433	487	541	595	649	703	757	811	865
bo	6709	6711	6713	6715	6717	6719	6721	6723	6725	6727	6729	6731	6733
po	919	973	1027	1081	1135	1189	1243	1297	1351	1405	1459	1513	1567
bo	6735	6737	6739	6741	6743	6745	6747	6749	6751	6753	6755	6757	6759
po	1621	1675	1729	1783	1837	1891	1945	1999	2053	2107	2161	2215	2269
bo	6761	6763	6765	6767	6769	6771	6773	6775	6777	6779	6781	6783	6785
po	2323	2377	2431	2485	2539	2593	2647	2701	2755	2809	2863	2917	2971
bo	6787	6789	6791	6793	6795	6797	6799	6801	6803	6805	6807	6809	6811
po	3025	3079	3133	3187	3241	3295	3349	3403	3457	3511	3565	3619	3673
bo	6813	6815	6817	6819	6821	6823	6825	6827	6829	6831	6833	6835	6837
po	3727	3781	3835	3889	3943	3997	4051	4105	4159	4213	4267	4321	4375
bo	6839	6841	6843	6845	6847	6849	6851	6853	6855	6857	6859	6861	6863
po	4429	4483	4537	4591	4645	4699	4753	4807	4861	4915	4969	5023	5077
bo	6865	6867	6869	6871	6873	6875	6877	6879	6881	6883	6885	6887	6889
po	5131	5185	5239	5293	5347	5401	5455	5509	5563	5617	5671	5725	5779
bo	6891	6893	6895	6897	6899	6901	6903	6905	6907	6909	6911	6913	6915
po	5833	5887	5941	5995	6049	6103	6157	6211	6265	6319	6373	6427	6481
bo	6917	6919	6921	6923	6925	6927	6929	6931	6933	6935	6937	6939	6941
po	6535	6589	6643	6697	6751	6805	6859	6913	6967	7021	7075	7129	7183
bo	6943	6945	6947	6949	6951	6953	6955	6957	6959	6961	6963	6965	6967
po	7237	7291	7345	7399	7453	7507	7561	7615	7669	7723	7777	7831	7885
bo	6969	6971	6973	6975	6977	6979	6981	6983	6985	6987	6989	6991	6993
po	7939	7993	8047	8101	8155	8209	8263	8317	8371	8425	8479	8533	8587
bo	6995	6997	6999	7001	7003	7005	7007	7009	7011	7013	7015	7017	7019
po	8641	8695	8749	8803	8857	8911	8965	9019	9073	9127	9181	9235	9289
bo	7021	7023	7025	7027	7029	7031	7033	7035	7037	7039	7041	7043	7045
po	9343	9397	9451	9505	9559	9613	9667	9721	9775	9829	9883	9937	9991
bo	7047	7049	7051	7053	7055	7057	7059	7061	7063	7065	7067	7069	7071
po	10045	10099	10153	10207	10261	10315	10369	10423	10477	10531	10585	10639	10693
bo	7073	7075	7077	7079	7081	7083	7085	7087	7089	7091	7093	7095	7097
po	10747	10801	10855	10909	10963	11017	11071	11125	11179	11233	11287	11341	11395
bo	7099	7101	7103	7105	7107	7109	7111	7113	7115	7117	7119	7121	7123
po	11449	11503	11557	11611	11665	11719	11773	11827	11881	11935	11989	12043	12097
bo	7125	7127	7129	7131	7133	7135	7137	7139	7141	7143	7145	7147	7149
po	12151	12205	12259	12313	12367	12421	12475	12529	12583	12637	12691	12745	12799
bo	7151	7153	7155	7157	7159	7161	7163	7165	7167	<			

bo	7255	7257	7259	7261	7263	7265	7267	7269	7271	7273	7275	7277	7279
po	15661	15715	15769	15823	15877	15931	15985	16039	16093	16147	16201	16255	16309
bo	7281	7283	7285	7287	7289	7291	7293	7295	7297	7299	7301	7303	7305
po	16363	33	87	141	195	249	303	357	411	465	519	573	627
bo	7307	7309	7311	7313	7315	7317	7319	7321	7323	7325	7327	7329	7331
po	681	735	789	843	897	951	1005	1059	1113	1167	1221	1275	1329
bo	7333	7335	7337	7339	7341	7343	7345	7347	7349	7351	7353	7355	7357
po	1383	1437	1491	1545	1599	1653	1707	1761	1815	1869	1923	1977	2031
bo	7359	7361	7363	7365	7367	7369	7371	7373	7375	7377	7379	7381	7383
po	2085	2139	2193	2247	2301	2355	2409	2463	2517	2571	2625	2679	2733
bo	7385	7387	7389	7391	7393	7395	7397	7399	7401	7403	7405	7407	7409
po	2787	2841	2895	2949	3003	3057	3111	3165	3219	3273	3327	3381	3435
bo	7411	7413	7415	7417	7419	7421	7423	7425	7427	7429	7431	7433	7435
po	3489	3543	3597	3651	3705	3759	3813	3867	3921	3975	4029	4083	4137
bo	7437	7439	7441	7443	7445	7447	7449	7451	7453	7455	7457	7459	7461
po	4191	4245	4299	4353	4407	4461	4515	4569	4623	4677	4731	4785	4839
bo	7463	7465	7467	7469	7471	7473	7475	7477	7479	7481	7483	7485	7487
po	4893	4947	5001	5055	5109	5163	5217	5271	5325	5379	5433	5487	5541
bo	7489	7491	7493	7495	7497	7499	7501	7503	7505	7507	7509	7511	7513
po	5595	5649	5703	5757	5811	5865	5919	5973	6027	6081	6135	6189	6243
bo	7515	7517	7519	7521	7523	7525	7527	7529	7531	7533	7535	7537	7539
po	6297	6351	6405	6459	6513	6567	6621	6675	6729	6783	6837	6891	6945
bo	7541	7543	7545	7547	7549	7551	7553	7555	7557	7559	7561	7563	7565
po	6999	7053	7107	7161	7215	7269	7323	7377	7431	7485	7539	7593	7647
bo	7567	7569	7571	7573	7575	7577	7579	7581	7583	7585	7587	7589	7591
po	7701	7755	7809	7863	7917	7971	8025	8079	8133	8187	8241	8295	8349
bo	7593	7595	7597	7599	7601	7603	7605	7607	7609	7611	7613	7615	7617
po	8403	8457	8511	8565	8619	8673	8727	8781	8835	8889	8943	8997	9051
bo	7619	7621	7623	7625	7627	7629	7631	7633	7635	7637	7639	7641	7643
po	9105	9159	9213	9267	9321	9375	9429	9483	9537	9591	9645	9699	9753
bo	7645	7647	7649	7651	7653	7655	7657	7659	7661	7663	7665	7667	7669
po	9807	9861	9915	9969	10023	10077	10131	10185	10239	10293	10347	10401	10455
bo	7671	7673	7675	7677	7679	7681	7683	7685	7687	7689	7691	7693	7695
po	10509	10563	10617	10671	10725	10779	10833	10887	10941	10995	11049	11103	11157
bo	7697	7699	7701	7703	7705	7707	7709	7711	7713	7715	7717	7719	7721
po	11211	11265	11319	11373	11427	11481	11535	11589	11643	11697	11751	11805	11859
bo	7723	7725	7727	7729	7731	7733	7735	7737	7739	7741	7743	7745	7747
po	11913	11967	12021	12075	12129	12183	12237	12291	12345	12399	12453	12507	12561
bo	7749	7751	7753	7755	7757	7759	7761	7763	7765	7767	7769	7771	7773
po	12615	12669	12723	12777	12831	12885	12939	12993	13047	13101	13155	13209	13263
bo	7775	7777	7779	7781	7783	7785	7787	7789	7791	7793	7795	7797	7799
po	13317	13371	13425	13479	13533	13587	13641	13695	13749	13803	13857	13911	13965
bo	7801	7803	7805	7807	7809	7811	7813	7815	7817	7819	7821	7823	7825
po	14019	14073	14127	14181	14235	14289	14343	14397	14451	14505	14559	14613	14667
bo	7827	7829	7831	7833	7835	7837	7839	7841	7843	7845	7847	7849	7851
po	14721	14775	14829	14883	14937	14991	15045	15099	15153	15207	15261	15315	15369
bo	7853	7855	7857	7859	7861	7863	7865	7867	7869	7871	7873	7875	7877
po	15423	15477	15531	15585	15639	15693	15747	15801	15855	15909	15963	16017	16071
bo	7879	7881	7883	7885	7887	7889	7891	7893	7895	7897	7899	7901	7903
po	16125	16179	16233	16287	16341	11	65	119	173	227	281	335	389
bo	7905	7907	7909	7911	7913	7915	7917	7919	7921	7923	7925	7927	7929
po	443	497	551	605	659	713	767	821	875	929	983	1037	1091
bo	7931	7933	7935	7937	7939	7941	7943	7945	7947	7949	7951	7953	7955
po	1145	1199	1253	1307	1361	1415	1469	1523	1577	1631	1685	1739	1793
bo	7957	7959	7961	7963	7965	7967	7969	7971	7973	7975	7977	7979	7981
po	1847	1901	1955	2009	2063	2117	2171	2225	2279	2333	2387	2441	2495
bo	7983	7985	7987	7989	7991	7993	7995	7997	7999	8001	8003	8005	8007
po	2549	2603	2657	2711	2765	2819	2873	2927	2981	3035	3089	3143	3197
bo	8009	8011	8013	8015	8017	8019	8021	8023	8025	8027	8029	8031	8033
po	3251	3305	3359	3413	3467	3521	3575	3629	3683	3737	3791	3845	3899
bo	8035	8037	8039	8041	8043	8045	8047	8049	8051	8053	8055	8057	8059
po	3953	4007	4061	4115	4169	4223	4277	4331	4385	4439	4493	4547	4601
bo	8061	8063	8065	8067	8069	8071	8073	8075	8077	8079	8081	8083	8085
po	4655	4709	4763	4817	4871	4925	4979	5033	5087	5141	5195	5249	5303
bo	8087	8089	8091	8093	8095	8097	8099	8101	8103	8105	8107	8109	8111
po	5357	5411	5465	5519	5573	5627	5681	5735	5789	5843	5897	5951	6005
bo	8113	8115	8117	8119	8121	8123	8125	8127	8129	8131	8133	8135	8137
po	6059	6113	6167	6221	6275	6329	6383	6437	6491	6545	6599	6653	6707
bo	8139	8141	8143	8145	8147	8149	8151	8153	8155	8157	8159	8161	8163
po	6761	6815	6869	6923	6977	7031	7085	7139	7193	7247	7301	7355	7409
bo	8165	8167	8169	8171	8173	8175	8177	8179	8181	8183	8185	8187	8189
po	7463	7517	7571	7625	7679	7733	7787	7841	7895	7949	8003	8057	8111
bo	8191	8193	8195	8197	8199	8201	8203	8205	8207	8209	8211	8213	8215
po	8165	8219	8273	8327	8381	8435	8489	8543	8597	8651	8705	8759	8813
bo	8217	8219	8221	8223	8225	8227	8229	8231	8233	8235	8237	8239	8241
po	8867	8921	8975	9029	9083	9137	9191	9245	9299	9353	9407	9461	9515
bo	8243	8245	8247	8249	8251	8253	8255	8257	8259	8261	8263	8265	8267
po	9569	9623	9677	9731	9785	9839	9893	9947	10001	10055	10109	10163	10217
bo	8269	8271	8273	8275	8277	8279	8281	8283	8285	8287	8289	8291	8293

bo	8373	8375	8377	8379	8381	8383	8385	8387	8389	8391	8393	8395	8397
po	13079	13133	13187	13241	13295	13349	13403	13457	13511	13565	13619	13673	13727
bo	8399	8401	8403	8405	8407	8409	8411	8413	8415	8417	8419	8421	8423
po	13781	13835	13889	13943	13997	14051	14105	14159	14213	14267	14321	14375	14429
bo	8425	8427	8429	8431	8433	8435	8437	8439	8441	8443	8445	8447	8449
po	14483	14537	14591	14645	14699	14753	14807	14861	14915	14969	15023	15077	15131
bo	8451	8453	8455	8457	8459	8461	8463	8465	8467	8469	8471	8473	8475
po	15185	15239	15293	15347	15401	15455	15509	15563	15617	15671	15725	15779	15833
bo	8477	8479	8481	8483	8485	8487	8489	8491	8493	8495	8497	8499	8501
po	15887	15941	15995	16049	16103	16157	16211	16265	16319	16373	43	97	151
bo	8503	8505	8507	8509	8511	8513	8515	8517	8519	8521	8523	8525	8527
po	205	259	313	367	421	475	529	583	637	691	745	799	853
bo	8529	8531	8533	8535	8537	8539	8541	8543	8545	8547	8549	8551	8553
po	907	961	1015	1069	1123	1177	1231	1285	1339	1393	1447	1501	1555
bo	8555	8557	8559	8561	8563	8565	8567	8569	8571	8573	8575	8577	8579
po	1609	1663	1717	1771	1825	1879	1933	1987	2041	2095	2149	2203	2257
bo	8581	8583	8585	8587	8589	8591	8593	8595	8597	8599	8601	8603	8605
po	2311	2365	2419	2473	2527	2581	2635	2689	2743	2797	2851	2905	2959
bo	8607	8609	8611	8613	8615	8617	8619	8621	8623	8625	8627	8629	8631
po	3013	3067	3121	3175	3229	3283	3337	3391	3445	3499	3553	3607	3661
bo	8633	8635	8637	8639	8641	8643	8645	8647	8649	8651	8653	8655	8657
po	3715	3769	3823	3877	3931	3985	4039	4093	4147	4201	4255	4309	4363
bo	8659	8661	8663	8665	8667	8669	8671	8673	8675	8677	8679	8681	8683
po	4417	4471	4525	4579	4633	4687	4741	4795	4849	4903	4957	5011	5065
bo	8685	8687	8689	8691	8693	8695	8697	8699	8701	8703	8705	8707	8709
po	5119	5173	5227	5281	5335	5389	5443	5497	5551	5605	5659	5713	5767
bo	8711	8713	8715	8717	8719	8721	8723	8725	8727	8729	8731	8733	8735
po	5821	5875	5929	5983	6037	6091	6145	6199	6253	6307	6361	6415	6469
bo	8737	8739	8741	8743	8745	8747	8749	8751	8753	8755	8757	8759	8761
po	6523	6577	6631	6685	6739	6793	6847	6901	6955	7009	7063	7117	7171
bo	8763	8765	8767	8769	8771	8773	8775	8777	8779	8781	8783	8785	8787
po	7225	7279	7333	7387	7441	7495	7549	7603	7657	7711	7765	7819	7873
bo	8789	8791	8793	8795	8797	8799	8801	8803	8805	8807	8809	8811	8813
po	7927	7981	8035	8089	8143	8197	8251	8305	8359	8413	8467	8521	8575
bo	8815	8817	8819	8821	8823	8825	8827	8829	8831	8833	8835	8837	8839
po	8629	8683	8737	8791	8845	8899	8953	9007	9061	9115	9169	9223	9277
bo	8841	8843	8845	8847	8849	8851	8853	8855	8857	8859	8861	8863	8865
po	9331	9385	9439	9493	9547	9601	9655	9709	9763	9817	9871	9925	9979
bo	8867	8869	8871	8873	8875	8877	8879	8881	8883	8885	8887	8889	8891
po	10033	10087	10141	10195	10249	10303	10357	10411	10465	10519	10573	10627	10681
bo	8893	8895	8897	8899	8901	8903	8905	8907	8909	8911	8913	8915	8917
po	10735	10789	10843	10897	10951	11005	11059	11113	11167	11221	11275	11329	11383
bo	8919	8921	8923	8925	8927	8929	8931	8933	8935	8937	8939	8941	8943
po	11437	11491	11545	11599	11653	11707	11761	11815	11869	11923	11977	12031	12085
bo	8945	8947	8949	8951	8953	8955	8957	8959	8961	8963	8965	8967	8969
po	12139	12193	12247	12301	12355	12409	12463	12517	12571	12625	12679	12733	12787
bo	8971	8973	8975	8977	8979	8981	8983	8985	8987	8989	8991	8993	8995
po	12841	12895	12949	13003	13057	13111	13165	13219	13273	13327	13381	13435	13489
bo	8997	8999	9001	9003	9005	9007	9009	9011	9013	9015	9017	9019	9021
po	13543	13597	13651	13705	13759	13813	13867	13921	13975	14029	14083	14137	14191
bo	9023	9025	9027	9029	9031	9033	9035	9037	9039	9041	9043	9045	9047
po	14245	14299	14353	14407	14461	14515	14569	14623	14677	14731	14785	14839	14893
bo	9049	9051	9053	9055	9057	9059	9061	9063	9065	9067	9069	9071	9073
po	14947	15001	15055	15109	15163	15217	15271	15325	15379	15433	15487	15541	15595
bo	9075	9077	9079	9081	9083	9085	9087	9089	9091	9093	9095	9097	9099
po	15649	15703	15757	15811	15865	15919	15973	16027	16081	16135	16189	16243	16297
bo	9101	9103	9105	9107	9109	9111	9113	9115	9117	9119	9121	9123	9125
po	16351	21	75	129	183	237	291	345	399	453	507	561	615
bo	9127	9129	9131	9133	9135	9137	9139	9141	9143	9145	9147	9149	9151
po	669	723	777	831	885	939	993	1047	1101	1155	1209	1263	1317
bo	9153	9155	9157	9159	9161	9163	9165	9167	9169	9171	9173	9175	9177
po	1371	1425	1479	1533	1587	1641	1695	1749	1803	1857	1911	1965	2019
bo	9179	9181	9183	9185	9187	9189	9191	9193	9195	9197	9199	9201	9203
po	2073	2127	2181	2235	2289	2343	2397	2451	2505	2559	2613	2667	2721
bo	9205	9207	9209	9211	9213	9215	9217	9219	9221	9223	9225	9227	9229
po	2775	2829	2883	2937	2991	3045	3099	3153	3207	3261	3315	3369	3423
bo	9231	9233	9235	9237	9239	9241	9243	9245	9247	9249	9251	9253	9255
po	3477	3531	3585	3639	3693	3747	3801	3855	3909	3963	4017	4071	4125
bo	9257	9259	9261	9263	9265	9267	9269	9271	9273	9275	9277	9279	9281
po	4179	4233	4287	4341	4395	4449	4503	4557	4611	4665	4719	4773	4827
bo	9283	9285	9287	9289	9291	9293	9295	9297	9299	9301	9303	9305	9307
po	4881	4935	4989	5043	5097	5151	5205	5259	5313	5367	5421	5475	5529
bo	9309	9311	9313	9315	9317	9319	9321	9323	9325	9327	9329	9331	9333
po	5583	5637	5691	5745	5799	5853	5907	5961	6015	6069	6123	6177	6231
bo	9335	9337	9339	9341	9343	9345	9347	9349	9351	9353	9355	9357	9359
po	6285	6339	6393	6447	6501	6555	6609	6663	6717	6771	6825	6879	6933
bo	9361	9363	9365	9367	9369	9371	9373	9375	9377	9379	9381	9383	9385
po	6987	7041	7095	7149	7203	7257	7311	7365	7419	7473	7527	7581	7635
bo	9387	9389	9391	9393	9395	9397	9399	9401	9403	9405 </			

bo	9491	9493	9495	9497	9499	9501	9503	9505	9507	9509	9511	9513	9515
po	10497	10551	10605	10659	10713	10767	10821	10875	10929	10983	11037	11091	11145
bo	9517	9519	9521	9523	9525	9527	9529	9531	9533	9535	9537	9539	9541
po	11199	11253	11307	11361	11415	11469	11523	11577	11631	11685	11739	11793	11847
bo	9543	9545	9547	9549	9551	9553	9555	9557	9559	9561	9563	9565	9567
po	11901	11955	12009	12063	12117	12171	12225	12279	12333	12387	12441	12495	12549
bo	9569	9571	9573	9575	9577	9579	9581	9583	9585	9587	9589	9591	9593
po	12603	12657	12711	12765	12819	12873	12927	12981	13035	13089	13143	13197	13251
bo	9595	9597	9599	9601	9603	9605	9607	9609	9611	9613	9615	9617	9619
po	13305	13359	13413	13467	13521	13575	13629	13683	13737	13791	13845	13899	13953
bo	9621	9623	9625	9627	9629	9631	9633	9635	9637	9639	9641	9643	9645
po	14007	14061	14115	14169	14223	14277	14331	14385	14439	14493	14547	14601	14655
bo	9647	9649	9651	9653	9655	9657	9659	9661	9663	9665	9667	9669	9671
po	14709	14763	14817	14871	14925	14979	15033	15087	15141	15195	15249	15303	15357
bo	9673	9675	9677	9679	9681	9683	9685	9687	9689	9691	9693	9695	9697
po	15411	15465	15519	15573	15627	15681	15735	15789	15843	15897	15951	16005	16059
bo	9699	9701	9703	9705	9707	9709	9711	9713	9715	9717	9719	9721	9723
po	16113	16167	16221	16275	16329	16383	53	107	161	215	269	323	377
bo	9725	9727	9729	9731	9733	9735	9737	9739	9741	9743	9745	9747	9749
po	431	485	539	593	647	701	755	809	863	917	971	1025	1079
bo	9751	9753	9755	9757	9759	9761	9763	9765	9767	9769	9771	9773	9775
po	1133	1187	1241	1295	1349	1403	1457	1511	1565	1619	1673	1727	1781
bo	9777	9779	9781	9783	9785	9787	9789	9791	9793	9795	9797	9799	9801
po	1835	1889	1943	1997	2051	2105	2159	2213	2267	2321	2375	2429	2483
bo	9803	9805	9807	9809	9811	9813	9815	9817	9819	9821	9823	9825	9827
po	2537	2591	2645	2699	2753	2807	2861	2915	2969	3023	3077	3131	3185
bo	9829	9831	9833	9835	9837	9839	9841	9843	9845	9847	9849	9851	9853
po	3239	3293	3347	3401	3455	3509	3563	3617	3671	3725	3779	3833	3887
bo	9855	9857	9859	9861	9863	9865	9867	9869	9871	9873	9875	9877	9879
po	3941	3995	4049	4103	4157	4211	4265	4319	4373	4427	4481	4535	4589
bo	9881	9883	9885	9887	9889	9891	9893	9895	9897	9899	9901	9903	9905
po	4643	4697	4751	4805	4859	4913	4967	5021	5075	5129	5183	5237	5291
bo	9907	9909	9911	9913	9915	9917	9919	9921	9923	9925	9927	9929	9931
po	5345	5399	5453	5507	5561	5615	5669	5723	5777	5831	5885	5939	5993
bo	9933	9935	9937	9939	9941	9943	9945	9947	9949	9951	9953	9955	9957
po	6047	6101	6155	6209	6263	6317	6371	6425	6479	6533	6587	6641	6695
bo	9959	9961	9963	9965	9967	9969	9971	9973	9975	9977	9979	9981	9983
po	6749	6803	6857	6911	6965	7019	7073	7127	7181	7235	7289	7343	7397
bo	9985	9987	9989	9991	9993	9995	9997	9999	10001	10003	10005	10007	10009
po	7451	7505	7559	7613	7667	7721	7775	7829	7883	7937	7991	8045	8099
bo	10011	10013	10015	10017	10019	10021	10023	10025	10027	10029	10031	10033	10035
po	8153	8207	8261	8315	8369	8423	8477	8531	8585	8639	8693	8747	8801
bo	10037	10039	10041	10043	10045	10047	10049	10051	10053	10055	10057	10059	10061
po	8855	8909	8963	9017	9071	9125	9179	9233	9287	9341	9395	9449	9503
bo	10063	10065	10067	10069	10071	10073	10075	10077	10079	10081	10083	10085	10087
po	9557	9611	9665	9719	9773	9827	9881	9935	9989	10043	10097	10151	10205
bo	10089	10091	10093	10095	10097	10099	10101	10103	10105	10107	10109	10111	10113
po	10259	10313	10367	10421	10475	10529	10583	10637	10691	10745	10799	10853	10907
bo	10115	10117	10119	10121	10123	10125	10127	10129	10131	10133	10135	10137	10139
po	10961	11015	11069	11123	11177	11231	11285	11339	11393	11447	11501	11555	11609
bo	10141	10143	10145	10147	10149	10151	10153	10155	10157	10159	10161	10163	10165
po	11663	11717	11771	11825	11879	11933	11987	12041	12095	12149	12203	12257	12311
bo	10167	10169	10171	10173	10175	10177	10179	10181	10183	10185	10187	10189	10191
po	12365	12419	12473	12527	12581	12635	12689	12743	12797	12851	12905	12959	13013
bo	10193	10195	10197	10199	10201	10203	10205	10207	10209	10211	10213	10215	10217
po	13067	13121	13175	13229	13283	13337	13391	13445	13499	13553	13607	13661	13715
bo	10219	10221	10223	10225	10227	10229	10231	10233	10235	10237	10239	10241	10243
po	13769	13823	13877	13931	13985	14039	14093	14147	14201	14255	14309	14363	14417
bo	10245	10247	10249	10251	10253	10255	10257	10259	10261	10263	10265	10267	10269
po	14471	14525	14579	14633	14687	14741	14795	14849	14903	14957	15011	15065	15119
bo	10271	10273	10275	10277	10279	10281	10283	10285	10287	10289	10291	10293	10295
po	15173	15227	15281	15335	15389	15443	15497	15551	15605	15659	15713	15767	15821
bo	10297	10299	10301	10303	10305	10307	10309	10311	10313	10315	10317	10319	10321
po	15875	15929	15983	16037	16091	16145	16199	16253	16307	16361	31	85	139
bo	10323	10325	10327	10329	10331	10333	10335	10337	10339	10341	10343	10345	10347
po	193	247	301	355	409	463	517	571	625	679	733	787	841
bo	10349	10351	10353	10355	10357	10359	10361	10363	10365	10367	10369	10371	10373
po	895	949	1003	1057	1111	1165	1219	1273	1327	1381	1435	1489	1543
bo	10375	10377	10379	10381	10383	10385	10387	10389	10391	10393	10395	10397	10399
po	1597	1651	1705	1759	1813	1867	1921	1975	2029	2083	2137	2191	2245
bo	10401	10403	10405	10407	10409	10411	10413	10415	10417	10419	10421	10423	10425
po	2299	2353	2407	2461	2515	2569	2623	2677	2731	2785	2839	2893	2947
bo	10427	10429	10431	10433	10435	10437	10439	10441	10443	10445	10447	10449	10451
po	3001	3055	3109	3163	3217	3271	3325	3379	3433	3487	3541	3595	3649
bo	10453	10455	10457	10459	10461	10463	10465	10467	10469	10471	10473	10475	10477
po	3703	3757	3811	3865	3919	3973	4027	4081	4135	4189	4243	4297	4351
bo	10479	10481	10483	10485	10487	10489	10491	10493	10495	10497	10499	10501	10503
po	4405	4459	4513	4567	4621	4675	4729	4783	4837	4891	4945	4999	5053
bo	10505	10507	10509	10511	10513	10515	10517	10519	10521	10523	10525	10527	10529
po	5107	5161	5215	5269	5323	5377	5431	5485	5539	5593	5647	5701	5755
bo	10531	10533	10535	10537	10539	10541	10543	10545	10547	10549	10551	10553	10555
po	5809	5863	5917	5971	6025	6079	6133	6187	6241	6295	6349	6403	6457
bo	10557	10559	10561	10563	10565	10567	10569	10571	10573	10575	10577	10579	10581
po	6511	6565	6619	6673	6727	6781	6835	6889	6943	6997	7051	7105	7159
bo	10583	10585	10587	10589	10591	10593	10595	10597	10599	10601	10603	10605	10607
po	7213	7267	7321	7375	7429	7483	7537	7591	7645	7699	7753	7807	7861

bo	10609	10611	10613	10615	10617	10619	10621	10623	10625	10627	10629	10631	10633
po	7915	7969	8023	8077	8131	8185	8239	8293	8347	8401	8455	8509	8563
bo	10635	10637	10639	10641	10643	10645	10647	10649	10651	10653	10655	10657	10659
po	8617	8671	8725	8779	8833	8887	8941	8995	9049	9103	9157	9211	9265
bo	10661	10663	10665	10667	10669	10671	10673	10675	10677	10679	10681	10683	10685
po	9319	9373	9427	9481	9535	9589	9643	9697	9751	9805	9859	9913	9967
bo	10687	10689	10691	10693	10695	10697	10699	10701	10703	10705	10707	10709	10711
po	10021	10075	10129	10183	10237	10291	10345	10399	10453	10507	10561	10615	10669
bo	10713	10715	10717	10719	10721	10723	10725	10727	10729	10731	10733	10735	10737
po	10723	10777	10831	10885	10939	10993	11047	11101	11155	11209	11263	11317	11371
bo	10739	10741	10743	10745	10747	10749	10751	10753	10755	10757	10759	10761	10763
po	11425	11479	11533	11587	11641	11695	11749	11803	11857	11911	11965	12019	12073
bo	10765	10767	10769	10771	10773	10775	10777	10779	10781	10783	10785	10787	10789
po	12127	12181	12235	12289	12343	12397	12451	12505	12559	12613	12667	12721	12775
bo	10791	10793	10795	10797	10799	10801	10803	10805	10807	10809	10811	10813	10815
po	12829	12883	12937	12991	13045	13099	13153	13207	13261	13315	13369	13423	13477
bo	10817	10819	10821	10823	10825	10827	10829	10831	10833	10835	10837	10839	10841
po	13531	13585	13639	13693	13747	13801	13855	13909	13963	14017	14071	14125	14179
bo	10843	10845	10847	10849	10851	10853	10855	10857	10859	10861	10863	10865	10867
po	14233	14287	14341	14395	14449	14503	14557	14611	14665	14719	14773	14827	14881
bo	10869	10871	10873	10875	10877	10879	10881	10883	10885	10887	10889	10891	10893
po	14935	14989	15043	15097	15151	15205	15259	15313	15367	15421	15475	15529	15583
bo	10895	10897	10899	10901	10903	10905	10907	10909	10911	10913	10915	10917	10919
po	15637	15691	15745	15799	15853	15907	15961	16015	16069	16123	16177	16231	16285
bo	10921	10923	10925	10927	10929	10931	10933	10935	10937	10939	10941	10943	10945
po	16339	9	63	117	225	279	333	387	441	495	549	603	
bo	10947	10949	10951	10953	10955	10957	10959	10961	10963	10965	10967	10969	10971
po	657	711	765	819	873	927	981	1035	1089	1143	1197	1251	1305
bo	10973	10975	10977	10979	10981	10983	10985	10987	10989	10991	10993	10995	10997
po	1359	1413	1467	1521	1575	1629	1683	1737	1791	1845	1899	1953	2007
bo	10999	11001	11003	11005	11007	11009	11011	11013	11015	11017	11019	11021	11023
po	2061	2115	2169	2223	2277	2331	2385	2439	2493	2547	2601	2655	2709
bo	11025	11027	11029	11031	11033	11035	11037	11039	11041	11043	11045	11047	11049
po	2763	2817	2871	2925	2979	3033	3087	3141	3195	3249	3303	3357	3411
bo	11051	11053	11055	11057	11059	11061	11063	11065	11067	11069	11071	11073	11075
po	3465	3519	3573	3627	3681	3735	3789	3843	3897	3951	4005	4059	4113
bo	11077	11079	11081	11083	11085	11087	11089	11091	11093	11095	11097	11099	11101
po	4167	4221	4275	4329	4383	4437	4491	4545	4599	4653	4707	4761	4815
bo	11103	11105	11107	11109	11111	11113	11115	11117	11119	11121	11123	11125	11127
po	4869	4923	4977	5031	5085	5139	5193	5247	5301	5355	5409	5463	5517
bo	11129	11131	11133	11135	11137	11139	11141	11143	11145	11147	11149	11151	11153
po	5571	5625	5679	5733	5787	5841	5895	5949	6003	6057	6111	6165	6219
bo	11155	11157	11159	11161	11163	11165	11167	11169	11171	11173	11175	11177	11179
po	6273	6327	6381	6435	6489	6543	6597	6651	6705	6759	6813	6867	6921
bo	11181	11183	11185	11187	11189	11191	11193	11195	11197	11199	11201	11203	11205
po	6975	7029	7083	7137	7191	7245	7299	7353	7407	7461	7515	7569	7623
bo	11207	11209	11211	11213	11215	11217	11219	11221	11223	11225	11227	11229	11231
po	7677	7731	7785	7839	7893	7947	8001	8055	8109	8163	8217	8271	8325
bo	11233	11235	11237	11239	11241	11243	11245	11247	11249	11251	11253	11255	11257
po	8379	8433	8487	8541	8595	8649	8703	8757	8811	8865	8919	8973	9027
bo	11259	11261	11263	11265	11267	11269	11271	11273	11275	11277	11279	11281	11283
po	9081	9135	9189	9243	9297	9351	9405	9459	9513	9567	9621	9675	9729
bo	11285	11287	11289	11291	11293	11295	11297	11299	11301	11303	11305	11307	11309
po	9783	9837	9891	9945	9999	10053	10107	10161	10215	10269	10323	10377	10431
bo	11311	11313	11315	11317	11319	11321	11323	11325	11327	11329	11331	11333	11335
po	10485	10539	10593	10647	10701	10755	10809	10863	10917	10971	11025	11079	11133
bo	11337	11339	11341	11343	11345	11347	11349	11351	11353	11355	11357	11359	11361
po	11187	11241	11295	11349	11403	11457	11511	11565	11619	11673	11727	11781	11835
bo	11363	11365	11367	11369	11371	11373	11375	11377	11379	11381	11383	11385	11387
po	11889	11943	11997	12051	12105	12159	12213	12267	12321	12375	12429	12483	12537
bo	11389	11391	11393	11395	11397	11399	11401	11403	11405	11407	11409	11411	11413
po	12591	12645	12699	12753	12807	12861	12915	12969	13023	13077	13131	13185	13239
bo	11415	11417	11419	11421	11423	11425	11427	11429	11431	11433	11435	11437	11439
po	13293	13347	13401	13455	13509	13563	13617	13671	13725	13779	13833	13887	13941
bo	11441	11443	11445	11447	11449	11451	11453	11455	11457	11459	11461	11463	11465
po	13995	14049	14103	14157	14211	14265	14319	14373	14427	14481	14535	14589	14643
bo	11467	11469	11471	11473	11475	11477	11479	11481	11483	11485	11487	11489	11491
po	14697	14751	14805	14859	14913	14967	15021	15075	15129	15183	15237	15291	15345
bo	11493	11495	11497	11499	11501	11503	11505	11507	11509	11511	11513	11515	11517
po	15399	15453	15507	15561	15615	15669	15723	15777	15831	15885	15939	15993	16047
bo	11519	11521	11523	11525	11527	11529	11531	11533	11535	11537	11539	11541	11543
po	16101	16155	16209	16263	16317	16371	41	95	149	203	257	311	365
bo	11545	11547	11549	11551	11553	11555	11557	11559	11561	11563	11565	11567	11569
po	419	473	527	581	635	689	743	797	851	905	959	1013	1067
bo	11571	11573	11575	11577	11579	11581	11583	11585	11587	11589	11591	11593	11595
po	1121	1175	1229	1283	1337	1391	1445	1499	1553	1607	1661	1715	1769
bo	11597	11599	11601	11603	11605	11607	11609	11611	11613	11615	11617	11619	11621
po	1823	1877	1931	1985	2039	2093	2147	2201	2255	2309	2363	2417	2471
bo	11623	11625	11627	11629	11631	11633	11635	11637	11639	11641	11643	11645	11647
po	2525	2579	2633	2687	2741	2795	2849	2903	2957	3011	3065	3119	3173
bo	11649	11651	11653	11655	11657	11659	11661	11663	11665	11667	11669	11671	11673
po	3227	3281	3335	3389	3443	3497	3551	3605	3659	3713	3767	3821	3875
bo	11675	11677	11679	11681	11683	11685	11687	11689	11691	11693	11695	11697	11699
po	3929	3983	4037	4091	4145	4199	4253	4307	4361	4415	4469	4523	4577
bo	11701	11703	11705	11707	11709	11711	11713	11715	11717	11719	11721	11723	11725
po	4631	4685	4739	4793	4847	4901	4955	5009	5063	5117	5171	5225	5279

bo	11727	11729	11731	11733	11735	11737	11739	11741	11743	11745	11747	11749	11751
po	5333	5387	5441	5495	5549	5603	5657	5711	5765	5819	5873	5927	5981
bo	11753	11755	11757	11759	11761	11763	11765	11767	11769	11771	11773	11775	11777
po	6035	6089	6143	6197	6251	6305	6359	6413	6467	6521	6575	6629	6683
bo	11779	11781	11783	11785	11787	11789	11791	11793	11795	11797	11799	11801	11803
po	6737	6791	6845	6899	6953	7007	7061	7115	7169	7223	7277	7331	7385
bo	11805	11807	11809	11811	11813	11815	11817	11819	11821	11823	11825	11827	11829
po	7439	7493	7547	7601	7655	7709	7763	7817	7871	7925	7979	8033	8087
bo	11831	11833	11835	11837	11839	11841	11843	11845	11847	11849	11851	11853	11855
po	8141	8195	8249	8303	8357	8411	8465	8519	8573	8627	8681	8735	8789
bo	11857	11859	11861	11863	11865	11867	11869	11871	11873	11875	11877	11879	11881
po	8843	8897	8951	9005	9059	9113	9167	9221	9275	9329	9383	9437	9491
bo	11883	11885	11887	11889	11891	11893	11895	11897	11899	11901	11903	11905	11907
po	9545	9599	9653	9707	9761	9815	9869	9923	9977	10031	10085	10139	10193
bo	11909	11911	11913	11915	11917	11919	11921	11923	11925	11927	11929	11931	11933
po	10247	10301	10355	10409	10463	10517	10571	10625	10679	10733	10787	10841	10895
bo	11935	11937	11939	11941	11943	11945	11947	11949	11951	11953	11955	11957	11959
po	10949	11003	11057	11111	11165	11219	11273	11327	11381	11435	11489	11543	11597
bo	11961	11963	11965	11967	11969	11971	11973	11975	11977	11979	11981	11983	11985
po	11651	11705	11759	11813	11867	11921	11975	12029	12083	12137	12191	12245	12299
bo	11987	11989	11991	11993	11995	11997	11999	12001	12003	12005	12007	12009	12011
po	12353	12407	12461	12515	12569	12623	12677	12731	12785	12839	12893	12947	13001
bo	12013	12015	12017	12019	12021	12023	12025	12027	12029	12031	12033	12035	12037
po	13055	13109	13163	13217	13271	13325	13379	13433	13487	13541	13595	13649	13703
bo	12039	12041	12043	12045	12047	12049	12051	12053	12055	12057	12059	12061	12063
po	13757	13811	13865	13919	13973	14027	14081	14135	14189	14243	14297	14351	14405
bo	12065	12067	12069	12071	12073	12075	12077	12079	12081	12083	12085	12087	12089
po	14459	14513	14567	14621	14675	14729	14783	14837	14891	14945	14999	15053	15107
bo	12091	12093	12095	12097	12099	12101	12103	12105	12107	12109	12111	12113	12115
po	15161	15215	15269	15323	15377	15431	15485	15539	15593	15647	15701	15755	15809
bo	12117	12119	12121	12123	12125	12127	12129	12131	12133	12135	12137	12139	12141
po	15863	15917	15971	16025	16079	16133	16187	16241	16295	16349	19	73	127
bo	12143	12145	12147	12149	12151	12153	12155	12157	12159	12161	12163	12165	12167
po	181	235	289	343	397	451	505	559	613	667	721	775	829
bo	12169	12171	12173	12175	12177	12179	12181	12183	12185	12187	12189	12191	12193
po	883	937	991	1045	1099	1153	1207	1261	1315	1369	1423	1477	1531
bo	12195	12197	12199	12201	12203	12205	12207	12209	12211	12213	12215	12217	12219
po	1585	1639	1693	1747	1801	1855	1909	1963	2017	2071	2125	2179	2233
bo	12221	12223	12225	12227	12229	12231	12233	12235	12237	12239	12241	12243	12245
po	2287	2341	2395	2449	2503	2557	2611	2665	2719	2773	2827	2881	2935
bo	12247	12249	12251	12253	12255	12257	12259	12261	12263	12265	12267	12269	12271
po	2989	3043	3097	3151	3205	3259	3313	3367	3421	3475	3529	3583	3637
bo	12273	12275	12277	12279	12281	12283	12285	12287	12289	12291	12293	12295	12297
po	3691	3745	3799	3853	3907	3961	4015	4069	4123	4177	4231	4285	4339
bo	12299	12301	12303	12305	12307	12309	12311	12313	12315	12317	12319	12321	12323
po	4393	4447	4501	4555	4609	4663	4717	4771	4825	4879	4933	4987	5041
bo	12325	12327	12329	12331	12333	12335	12337	12339	12341	12343	12345	12347	12349
po	5095	5149	5203	5257	5311	5365	5419	5473	5527	5581	5635	5689	5743
bo	12351	12353	12355	12357	12359	12361	12363	12365	12367	12369	12371	12373	12375
po	5797	5851	5905	5959	6013	6067	6121	6175	6229	6283	6337	6391	6445
bo	12377	12379	12381	12383	12385	12387	12389	12391	12393	12395	12397	12399	12401
po	6499	6553	6607	6661	6715	6769	6823	6877	6931	6985	7039	7093	7147
bo	12403	12405	12407	12409	12411	12413	12415	12417	12419	12421	12423	12425	12427
po	7201	7255	7309	7363	7417	7471	7525	7579	7633	7687	7741	7795	7849
bo	12429	12431	12433	12435	12437	12439	12441	12443	12445	12447	12449	12451	12453
po	7903	7957	8011	8065	8119	8173	8227	8281	8335	8389	8443	8497	8551
bo	12455	12457	12459	12461	12463	12465	12467	12469	12471	12473	12475	12477	12479
po	8605	8659	8713	8767	8821	8875	8929	8983	9037	9091	9145	9199	9253
bo	12481	12483	12485	12487	12489	12491	12493	12495	12497	12499	12501	12503	12505
po	9307	9361	9415	9469	9523	9577	9631	9685	9739	9793	9847	9901	9955
bo	12507	12509	12511	12513	12515	12517	12519	12521	12523	12525	12527	12529	12531
po	10009	10063	10117	10171	10225	10279	10333	10387	10441	10495	10549	10603	10657
bo	12533	12535	12537	12539	12541	12543	12545	12547	12549	12551	12553	12555	12557
po	10711	10765	10819	10873	10927	10981	11035	11089	11143	11197	11251	11305	11359
bo	12559	12561	12563	12565	12567	12569	12571	12573	12575	12577	12579	12581	12583
po	11413	11467	11521	11575	11629	11683	11737	11791	11845	11899	11953	12007	12061
bo	12585	12587	12589	12591	12593	12595	12597	12599	12601	12603	12605	12607	12609
po	12115	12169	12223	12277	12331	12385	12439	12493	12547	12601	12655	12709	12763
bo	12611	12613	12615	12617	12619	12621	12623	12625	12627	12629	12631	12633	12635
po	12817	12871	12925	12979	13033	13087	13141	13195	13249	13303	13357	13411	13465
bo	12637	12639	12641	12643	12645	12647	12649	12651	12653	12655	12657	12659	12661
po	13519	13573	13627	13681	13735	13789	13843	13897	13951	14005	14059	14113	14167
bo	12663	12665	12667	12669	12671	12673	12675	12677	12679	12681	12683	12685	12687
po	14221	14275	14329	14383	14437	14491	14545	14599	14653	14707	14761	14815	14869
bo	12689	12691	12693	12695	12697	12699	12701	12703	12705	12707	12709	12711	12713
po	14923	14977	15031	15085	15139	15193	15247	15301	15355	15409	15463	15517	15571
bo	12715	12717	12719	12721	12723	12725	12727	12729	12731	12733	12735	12737	12739
po	15625	15679	15733	15787	15841	15895	15949	16003	16057	16111	16165	16219	16273
bo	12741	12743	12745	12747	12749	12751	12753	12755	12757	12759	12761	12763	12765
po	16327	16381	51	105	159	213	267	321	375	429	483	537	591
bo	12767	12769	12771	12773	12775	12777	12779	12781	12783	12785	12787	12789	12791
po	645	699	753	807	861	915	969	1023	1077	1131	1185	1239	1293
bo	12793	12795	12797	12799	12801	12803	12805	12807	12809	12811	12813	12815	12817
po	1347	1401	1455	1509	1563	1617	1671	1725	1779	1833	1887	1941	1995
bo	12819	12821	12823	12825	12827	12829	12831	12833	12835	12837	12839	12841	12843
po	2049	2103	2157	2211	2265	2319	2373	2427	2481	2535	2589	2643	2697

bo	12845	12847	12849	12851	12853	12855	12857	12859	12861	12863	12865	12867	12869
po	2751	2805	2859	2913	2967	3021	3075	3129	3183	3237	3291	3345	3399
bo	12871	12873	12875	12877	12879	12881	12883	12885	12887	12889	12891	12893	12895
po	3453	3507	3561	3615	3669	3723	3777	3831	3885	3939	3993	4047	4101
bo	12897	12899	12901	12903	12905	12907	12909	12911	12913	12915	12917	12919	12921
po	4155	4209	4263	4317	4371	4425	4479	4533	4587	4641	4695	4749	4803
bo	12923	12925	12927	12929	12931	12933	12935	12937	12939	12941	12943	12945	12947
po	4857	4911	4965	5019	5073	5127	5181	5235	5289	5343	5397	5451	5505
bo	12949	12951	12953	12955	12957	12959	12961	12963	12965	12967	12969	12971	12973
po	5559	5613	5667	5721	5775	5829	5883	5937	5991	6045	6099	6153	6207
bo	12975	12977	12979	12981	12983	12985	12987	12989	12991	12993	12995	12997	12999
po	6261	6315	6369	6423	6477	6531	6585	6639	6693	6747	6801	6855	6909
bo	13001	13003	13005	13007	13009	13011	13013	13015	13017	13019	13021	13023	13025
po	6963	7017	7071	7125	7179	7233	7287	7341	7395	7449	7503	7557	7611
bo	13027	13029	13031	13033	13035	13037	13039	13041	13043	13045	13047	13049	13051
po	7665	7719	7773	7827	7881	7935	7989	8043	8097	8151	8205	8259	8313
bo	13053	13055	13057	13059	13061	13063	13065	13067	13069	13071	13073	13075	13077
po	8367	8421	8475	8529	8583	8637	8691	8745	8799	8853	8907	8961	9015
bo	13079	13081	13083	13085	13087	13089	13091	13093	13095	13097	13099	13101	13103
po	9069	9123	9177	9231	9285	9339	9393	9447	9501	9555	9609	9663	9717
bo	13105	13107	13109	13111	13113	13115	13117	13119	13121	13123	13125	13127	13129
po	9771	9825	9879	9933	9987	10041	10095	10149	10203	10257	10311	10365	10419
bo	13131	13133	13135	13137	13139	13141	13143	13145	13147	13149	13151	13153	13155
po	10473	10527	10581	10635	10689	10743	10797	10851	10905	10959	11013	11067	11121
bo	13157	13159	13161	13163	13165	13167	13169	13171	13173	13175	13177	13179	13181
po	11175	11229	11283	11337	11391	11445	11499	11553	11607	11661	11715	11769	11823
bo	13183	13185	13187	13189	13191	13193	13195	13197	13199	13201	13203	13205	13207
po	11877	11931	11985	12039	12093	12147	12201	12255	12309	12363	12417	12471	12525
bo	13209	13211	13213	13215	13217	13219	13221	13223	13225	13227	13229	13231	13233
po	12579	12633	12687	12741	12795	12849	12903	12957	13011	13065	13119	13173	13227
bo	13235	13237	13239	13241	13243	13245	13247	13249	13251	13253	13255	13257	13259
po	13281	13335	13389	13443	13497	13551	13605	13659	13713	13767	13821	13875	13929
bo	13261	13263	13265	13267	13269	13271	13273	13275	13277	13279	13281	13283	13285
po	13983	14037	14091	14145	14199	14253	14307	14361	14415	14469	14523	14577	14631
bo	13287	13289	13291	13293	13295	13297	13299	13301	13303	13305	13307	13309	13311
po	14685	14739	14793	14847	14901	14955	15009	15063	15117	15171	15225	15279	15333
bo	13313	13315	13317	13319	13321	13323	13325	13327	13329	13331	13333	13335	13337
po	15387	15441	15495	15549	15603	15657	15711	15765	15819	15873	15927	15981	16035
bo	13339	13341	13343	13345	13347	13349	13351	13353	13355	13357	13359	13361	13363
po	16089	16143	16197	16251	16305	16359	29	83	137	191	245	299	353
bo	13365	13367	13369	13371	13373	13375	13377	13379	13381	13383	13385	13387	13389
po	407	461	515	569	623	677	731	785	839	893	947	1001	1055
bo	13391	13393	13395	13397	13399	13401	13403	13405	13407	13409	13411	13413	13415
po	1109	1163	1217	1271	1325	1379	1433	1487	1541	1595	1649	1703	1757
bo	13417	13419	13421	13423	13425	13427	13429	13431	13433	13435	13437	13439	13441
po	1811	1865	1919	1973	2027	2081	2135	2189	2243	2297	2351	2405	2459
bo	13443	13445	13447	13449	13451	13453	13455	13457	13459	13461	13463	13465	13467
po	2513	2567	2621	2675	2729	2783	2837	2891	2945	2999	3053	3107	3161
bo	13469	13471	13473	13475	13477	13479	13481	13483	13485	13487	13489	13491	13493
po	3215	3269	3323	3377	3431	3485	3539	3593	3647	3701	3755	3809	3863
bo	13495	13497	13499	13501	13503	13505	13507	13509	13511	13513	13515	13517	13519
po	3917	3971	4025	4079	4133	4187	4241	4295	4349	4403	4457	4511	4565
bo	13521	13523	13525	13527	13529	13531	13533	13535	13537	13539	13541	13543	13545
po	4619	4673	4727	4781	4835	4889	4943	4997	5051	5105	5159	5213	5267
bo	13547	13549	13551	13553	13555	13557	13559	13561	13563	13565	13567	13569	13571
po	5321	5375	5429	5483	5537	5591	5645	5699	5753	5807	5861	5915	5969
bo	13573	13575	13577	13579	13581	13583	13585	13587	13589	13591	13593	13595	13597
po	6023	6077	6131	6185	6239	6293	6347	6401	6455	6509	6563	6617	6671
bo	13599	13601	13603	13605	13607	13609	13611	13613	13615	13617	13619	13621	13623
po	6725	6779	6833	6887	6941	6995	7049	7103	7157	7211	7265	7319	7373
bo	13625	13627	13629	13631	13633	13635	13637	13639	13641	13643	13645	13647	13649
po	7427	7481	7535	7589	7643	7697	7751	7805	7859	7913	7967	8021	8075
bo	13651	13653	13655	13657	13659	13661	13663	13665	13667	13669	13671	13673	13675
po	8129	8183	8237	8291	8345	8399	8453	8507	8561	8615	8669	8723	8777
bo	13677	13679	13681	13683	13685	13687	13689	13691	13693	13695	13697	13699	13701
po	8831	8885	8939	8993	9047	9101	9155	9209	9263	9317	9371	9425	9479
bo	13703	13705	13707	13709	13711	13713	13715	13717	13719	13721	13723	13725	13727
po	9533	9587	9641	9695	9749	9803	9857	9911	9965	10019	10073	10127	10181
bo	13729	13731	13733	13735	13737	13739	13741	13743	13745	13747	13749	13751	13753
po	10235	10289	10343	10397	10451	10505	10559	10613	10667	10721	10775	10829	10883
bo	13755	13757	13759	13761	13763	13765	13767	13769	13771	13773	13775	13777	13779
po	10937	10991	11045	11099	11153	11207	11261	11315	11369	11423	11477	11531	11585
bo	13781	13783	13785	13787	13789	13791	13793	13795	13797	13799	13801	13803	13805
po	11639	11693	11747	11801	11855	11909	11963	12017	12071	12125	12179	12233	12287
bo	13807	13809	13811	13813	13815	13817	13819	13821	13823	13825	13827	13829	13831
po	12341	12395	12449	12503	12557	12611	12665	12719	12773	12827	12881	12935	12989
bo	13833	13835	13837	13839	13841	13843	13845	13847	13849	13851	13853	13855	13857
po	13043	13097	13151	13205	13259	13313	13367	13421	13475	13529	13583	13637	13691
bo	13859	13861	13863	13865	13867	13869	13871	13873	13875	13877	13879	13881	13883
po	13745	13799	13853	13907	13961	14015	14069	14123	14177	14231	14285	14339	14393
bo	13885	13887	13889	13891	13893	13895	13897	13899	13901	13903	13905	13907	13909
po	14447	14501	14555	14609	14663	14717	14771	14825	14879	14933	14987	15041	15095
bo	13911	13913	13915	13917	13919	13921	13923	13925	13927	13929	13931	13933	13935
po	15149	15203	15257	15311	15365	15419	15473	15527	15581	15635	15689	15743	15797
bo	13937	13939	13941	13943	13945	13947	13949	13951	13953	13955	13957	13959	13961
po	15851	15905	15959	16013	16067	16121	16175	16229	16283	16337	7	61	115

bo	13963	13965	13967	13969	13971	13973	13975	13977	13979	13981	13983	13985	13987
po	169	223	277	331	385	439	493	547	601	655	709	763	817
bo	13989	13991	13993	13995	13997	13999	14001	14003	14005	14007	14009	14011	14013
po	871	925	979	1033	1087	1141	1195	1249	1303	1357	1411	1465	1519
bo	14015	14017	14019	14021	14023	14025	14027	14029	14031	14033	14035	14037	14039
po	1573	1627	1681	1735	1789	1843	1897	1951	2005	2059	2113	2167	2221
bo	14041	14043	14045	14047	14049	14051	14053	14055	14057	14059	14061	14063	14065
po	2275	2329	2383	2437	2491	2545	2599	2653	2707	2761	2815	2869	2923
bo	14067	14069	14071	14073	14075	14077	14079	14081	14083	14085	14087	14089	14091
po	2977	3031	3085	3139	3193	3247	3301	3355	3409	3463	3517	3571	3625
bo	14093	14095	14097	14099	14101	14103	14105	14107	14109	14111	14113	14115	14117
po	3679	3733	3787	3841	3895	3949	4003	4057	4111	4165	4219	4273	4327
bo	14119	14121	14123	14125	14127	14129	14131	14133	14135	14137	14139	14141	14143
po	4381	4435	4489	4543	4597	4651	4705	4759	4813	4867	4921	4975	5029
bo	14145	14147	14149	14151	14153	14155	14157	14159	14161	14163	14165	14167	14169
po	5083	5137	5191	5245	5299	5353	5407	5461	5515	5569	5623	5677	5731
bo	14171	14173	14175	14177	14179	14181	14183	14185	14187	14189	14191	14193	14195
po	5785	5839	5893	5947	6001	6055	6109	6163	6217	6271	6325	6379	6433
bo	14197	14199	14201	14203	14205	14207	14209	14211	14213	14215	14217	14219	14221
po	6487	6541	6595	6649	6703	6757	6811	6865	6919	6973	7027	7081	7135
bo	14223	14225	14227	14229	14231	14233	14235	14237	14239	14241	14243	14245	14247
po	7189	7243	7297	7351	7405	7459	7513	7567	7621	7675	7729	7783	7837
bo	14249	14251	14253	14255	14257	14259	14261	14263	14265	14267	14269	14271	14273
po	7891	7945	7999	8053	8107	8161	8215	8269	8323	8377	8431	8485	8539
bo	14275	14277	14279	14281	14283	14285	14287	14289	14291	14293	14295	14297	14299
po	8593	8647	8701	8755	8809	8863	8917	8971	9025	9079	9133	9187	9241
bo	14301	14303	14305	14307	14309	14311	14313	14315	14317	14319	14321	14323	14325
po	9295	9349	9403	9457	9511	9565	9619	9673	9727	9781	9835	9889	9943
bo	14327	14329	14331	14333	14335	14337	14339	14341	14343	14345	14347	14349	14351
po	9997	10051	10105	10159	10213	10267	10321	10375	10429	10483	10537	10591	10645
bo	14353	14355	14357	14359	14361	14363	14365	14367	14369	14371	14373	14375	14377
po	10699	10753	10807	10861	10915	10969	11023	11077	11131	11185	11239	11293	11347
bo	14379	14381	14383	14385	14387	14389	14391	14393	14395	14397	14399	14401	14403
po	11401	11455	11509	11563	11617	11671	11725	11779	11833	11887	11941	11995	12049
bo	14405	14407	14409	14411	14413	14415	14417	14419	14421	14423	14425	14427	14429
po	12103	12157	12211	12265	12319	12373	12427	12481	12535	12589	12643	12697	12751
bo	14431	14433	14435	14437	14439	14441	14443	14445	14447	14449	14451	14453	14455
po	12805	12859	12913	12967	13021	13075	13129	13183	13237	13291	13345	13399	13453
bo	14457	14459	14461	14463	14465	14467	14469	14471	14473	14475	14477	14479	14481
po	13507	13561	13615	13669	13723	13777	13831	13885	13939	13993	14047	14101	14155
bo	14483	14485	14487	14489	14491	14493	14495	14497	14499	14501	14503	14505	14507
po	14209	14263	14317	14371	14425	14479	14533	14587	14641	14695	14749	14803	14857
bo	14509	14511	14513	14515	14517	14519	14521	14523	14525	14527	14529	14531	14533
po	14911	14965	15019	15073	15127	15181	15235	15289	15343	15397	15451	15505	15559
bo	14535	14537	14539	14541	14543	14545	14547	14549	14551	14553	14555	14557	14559
po	15613	15667	15721	15775	15829	15883	15937	15991	16045	16099	16153	16207	16261
bo	14561	14563	14565	14567	14569	14571	14573	14575	14577	14579	14581	14583	14585
po	16315	16369	39	93	147	201	255	309	363	417	471	525	579
bo	14587	14589	14591	14593	14595	14597	14599	14601	14603	14605	14607	14609	14611
po	633	687	741	795	849	903	957	1011	1065	1119	1173	1227	1281
bo	14613	14615	14617	14619	14621	14623	14625	14627	14629	14631	14633	14635	14637
po	1335	1389	1443	1497	1551	1605	1659	1713	1767	1821	1875	1929	1983
bo	14639	14641	14643	14645	14647	14649	14651	14653	14655	14657	14659	14661	14663
po	2037	2091	2145	2199	2253	2307	2361	2415	2469	2523	2577	2631	2685
bo	14665	14667	14669	14671	14673	14675	14677	14679	14681	14683	14685	14687	14689
po	2739	2793	2847	2901	2955	3009	3063	3117	3171	3225	3279	3333	3387
bo	14691	14693	14695	14697	14699	14701	14703	14705	14707	14709	14711	14713	14715
po	3441	3495	3549	3603	3657	3711	3765	3819	3873	3927	3981	4035	4089
bo	14717	14719	14721	14723	14725	14727	14729	14731	14733	14735	14737	14739	14741
po	4143	4197	4251	4305	4359	4413	4467	4521	4575	4629	4683	4737	4791
bo	14743	14745	14747	14749	14751	14753	14755	14757	14759	14761	14763	14765	14767
po	4845	4899	4953	5007	5061	5115	5169	5223	5277	5331	5385	5439	5493
bo	14769	14771	14773	14775	14777	14779	14781	14783	14785	14787	14789	14791	14793
po	5547	5601	5655	5709	5763	5817	5871	5925	5979	6033	6087	6141	6195
bo	14795	14797	14799	14801	14803	14805	14807	14809	14811	14813	14815	14817	14819
po	6249	6303	6357	6411	6465	6519	6573	6627	6681	6735	6789	6843	6897
bo	14821	14823	14825	14827	14829	14831	14833	14835	14837	14839	14841	14843	14845
po	6951	7005	7059	7113	7167	7221	7275	7329	7383	7437	7491	7545	7599
bo	14847	14849	14851	14853	14855	14857	14859	14861	14863	14865	14867	14869	14871
po	7653	7707	7761	7815	7869	7923	7977	8031	8085	8139	8193	8247	8301
bo	14873	14875	14877	14879	14881	14883	14885	14887	14889	14891	14893	14895	14897
po	8355	8409	8463	8517	8571	8625	8679	8733	8787	8841	8895	8949	9003
bo	14899	14901	14903	14905	14907	14909	14911	14913	14915	14917	14919	14921	14923
po	9057	9111	9165	9219	9273	9327	9381	9435	9489	9543	9597	9651	9705
bo	14925	14927	14929	14931	14933	14935	14937	14939	14941	14943	14945	14947	14949
po	9759	9813	9867	9921	9975	10029	10083	10137	10191	10245	10299	10353	10407

bo	15081	15083	15085	15087	15089	15091	15093	15095	15097	15099	15101	15103	15105
po	13971	14025	14079	14133	14187	14241	14295	14349	14403	14457	14511	14565	14619
bo	15107	15109	15111	15113	15115	15117	15119	15121	15123	15125	15127	15129	15131
po	14673	14727	14781	14835	14889	14943	14997	15051	15105	15159	15213	15267	15321
bo	15133	15135	15137	15139	15141	15143	15145	15147	15149	15151	15153	15155	15157
po	15375	15429	15483	15537	15591	15645	15699	15753	15807	15861	15915	15969	16023
bo	15159	15161	15163	15165	15167	15169	15171	15173	15175	15177	15179	15181	15183
po	16077	16131	16185	16239	16293	16347	17	71	125	179	233	287	341
bo	15185	15187	15189	15191	15193	15195	15197	15199	15201	15203	15205	15207	15209
po	395	449	503	557	611	665	719	773	827	881	935	989	1043
bo	15211	15213	15215	15217	15219	15221	15223	15225	15227	15229	15231	15233	15235
po	1097	1151	1205	1259	1313	1367	1421	1475	1529	1583	1637	1691	1745
bo	15237	15239	15241	15243	15245	15247	15249	15251	15253	15255	15257	15259	15261
po	1799	1853	1907	1961	2015	2069	2123	2177	2231	2285	2339	2393	2447
bo	15263	15265	15267	15269	15271	15273	15275	15277	15279	15281	15283	15285	15287
po	2501	2555	2609	2663	2717	2771	2825	2879	2933	2987	3041	3095	3149
bo	15289	15291	15293	15295	15297	15299	15301	15303	15305	15307	15309	15311	15313
po	3203	3257	3311	3365	3419	3473	3527	3581	3635	3689	3743	3797	3851
bo	15315	15317	15319	15321	15323	15325	15327	15329	15331	15333	15335	15337	15339
po	3905	3959	4013	4067	4121	4175	4229	4283	4337	4391	4445	4499	4553
bo	15341	15343	15345	15347	15349	15351	15353	15355	15357	15359	15361	15363	15365
po	4607	4661	4715	4769	4823	4877	4931	4985	5039	5093	5147	5201	5255
bo	15367	15369	15371	15373	15375	15377	15379	15381	15383	15385	15387	15389	15391
po	5309	5363	5417	5471	5525	5579	5633	5687	5741	5795	5849	5903	5957
bo	15393	15395	15397	15399	15401	15403	15405	15407	15409	15411	15413	15415	15417
po	6011	6065	6119	6173	6227	6281	6335	6389	6443	6497	6551	6605	6659
bo	15419	15421	15423	15425	15427	15429	15431	15433	15435	15437	15439	15441	15443
po	6713	6767	6821	6875	6929	6983	7037	7091	7145	7199	7253	7307	7361
bo	15445	15447	15449	15451	15453	15455	15457	15459	15461	15463	15465	15467	15469
po	7415	7469	7523	7577	7631	7685	7739	7793	7847	7901	7955	8009	8063
bo	15471	15473	15475	15477	15479	15481	15483	15485	15487	15489	15491	15493	15495
po	8117	8171	8225	8279	8333	8387	8441	8495	8549	8603	8657	8711	8765
bo	15497	15499	15501	15503	15505	15507	15509	15511	15513	15515	15517	15519	15521
po	8819	8873	8927	8981	9035	9089	9143	9197	9251	9305	9359	9413	9467
bo	15523	15525	15527	15529	15531	15533	15535	15537	15539	15541	15543	15545	15547
po	9521	9575	9629	9683	9737	9791	9845	9899	9953	10007	10061	10115	10169
bo	15549	15551	15553	15555	15557	15559	15561	15563	15565	15567	15569	15571	15573
po	10223	10277	10331	10385	10439	10493	10547	10601	10655	10709	10763	10817	10871
bo	15575	15577	15579	15581	15583	15585	15587	15589	15591	15593	15595	15597	15599
po	10925	10979	11033	11087	11141	11195	11249	11303	11357	11411	11465	11519	11573
bo	15601	15603	15605	15607	15609	15611	15613	15615	15617	15619	15621	15623	15625
po	11627	11681	11735	11789	11843	11897	11951	12005	12059	12113	12167	12221	12275
bo	15627	15629	15631	15633	15635	15637	15639	15641	15643	15645	15647	15649	15651
po	12329	12383	12437	12491	12545	12599	12653	12707	12761	12815	12869	12923	12977
bo	15653	15655	15657	15659	15661	15663	15665	15667	15669	15671	15673	15675	15677
po	13031	13085	13139	13193	13247	13301	13355	13409	13463	13517	13571	13625	13679
bo	15679	15681	15683	15685	15687	15689	15691	15693	15695	15697	15699	15701	15703
po	13733	13787	13841	13895	13949	14003	14057	14111	14165	14219	14273	14327	14381
bo	15705	15707	15709	15711	15713	15715	15717	15719	15721	15723	15725	15727	15729
po	14435	14489	14543	14597	14651	14705	14759	14813	14867	14921	14975	15029	15083
bo	15731	15733	15735	15737	15739	15741	15743	15745	15747	15749	15751	15753	15755
po	15137	15191	15245	15299	15353	15407	15461	15515	15569	15623	15677	15731	15785
bo	15757	15759	15761	15763	15765	15767	15769	15771	15773	15775	15777	15779	15781
po	15839	15893	15947	16001	16055	16109	16163	16217	16271	16325	16379	49	103
bo	15783	15785	15787	15789	15791	15793	15795	15797	15799	15801	15803	15805	15807
po	157	211	265	319	373	427	481	535	589	643	697	751	805
bo	15809	15811	15813	15815	15817	15819	15821	15823	15825	15827	15829	15831	15833
po	859	913	967	1021	1075	1129	1183	1237	1291	1345	1399	1453	1507
bo	15835	15837	15839	15841	15843	15845	15847	15849	15851	15853	15855	15857	15859
po	1561	1615	1669	1723	1777	1831	1885	1939	1993	2047	2101	2155	2209
bo	15861	15863	15865	15867	15869	15871	15873	15875	15877	15879	15881	15883	15885
po	2263	2317	2371	2425	2479	2533	2587	2641	2695	2749	2803	2857	2911
bo	15887	15889	15891	15893	15895	15897	15899	15901	15903	15905	15907	15909	15911
po	2965	3019	3073	3127	3181	3235	3289	3343	3397	3451	3505	3559	3613
bo	15913	15915	15917	15919	15921	15923	15925	15927	15929	15931	15933	15935	15937
po	3667	3721	3775	3829	3883	3937	3991	4045	4099	4153	4207	4261	4315
bo	15939	15941	15943	15945	15947	15949	15951	15953	15955	15957	15959	15961	15963
po	4369	4423	4477	4531	4585	4639	4693	4747	4801	4855	4909	4963	5017
bo	15965	15967	15969	15971	15973	15975	15977	15979	15981	15983	15985	15987	15989
po	5071	5125	5179	5233	5287	5341	5395	5449	5503	5557	5611	5665	5719
bo	15991	15993	15995	15997	15999	16001	16003	16005	16007	16009	16011	16013	16015
po	5773	5827	5881	5935	5989	6043	6097	6151	6205	6259	6313	6367	6421
bo	16017	16019	16021	16023	16025	16027	16029	16031	16033	16035	16037	16039	16041
po	6475	6529	6583	6637	6691	6745	6799	6853	6907	6961	7015	7069	7123
bo	16043	16045	16047	16049	16051	16053	16055	16057	16059	16061	16063	16065	16067
po	7177	7231	7285	7339	7393	7447	7501	7555	7609	7663	7717	7771	7825
bo	16069	16071	16073	16075	16077	16079	16081	16083	16085	16087	16089	16091	16093
po	7879	7933	7987	8041	8095	8149	8203	8257	8311	8365	8419	8473	8527
bo	16095	16097	16099	16101	16103	16105	16107	16109	16111	16113	16115	16117	16119
po	8581	8635	8689	8743	8797	8851	8905	8959	9013	9067	9121	9175	9229
bo	16121	16123	16125	16127	16129	16131	16133	16135	16137	16139	16141	16143	16145
po	9283	9337	9391	9445	9499	9553	9607	9661	9715	9769	9823	9877	9931
bo	16147	16149	16151	16153	16155	16157	16159	16161	16163	16165	16167	16169	16171
po	9985	10039	10093	10147	10201	10255	10309	10363	10417	10471	10525	10579	10633
bo	16173	16175	16177	16179	16181	16183	16185	16187	16189	16191	16193	16195	16197
po	10687	10741	10795	10849	10903	10957	11011	11065	11119	11173	11227	11281	11335

Imagen: 128 x 128 píxeles / Payload: 27 bytes

bo	16199	16201	16203	16205	16207	16209	16211	16213	16215	16217	16219	16221	16223
po	11389	11443	11497	11551	11605	11659	11713	11767	11821	11875	11929	11983	12037
bo	16225	16227	16229	16231	16233	16235	16237	16239	16241	16243	16245	16247	16249
po	12091	12145	12199	12253	12307	12361	12415	12469	12523	12577	12631	12685	12739
bo	16251	16253	16255	16257	16259	16261	16263	16265	16267	16269	16271	16273	16275
po	12793	12847	12901	12955	13009	13063	13117	13171	13225	13279	13333	13387	13441
bo	16277	16279	16281	16283	16285	16287	16289	16291	16293	16295	16297	16299	16301
po	13495	13549	13603	13657	13711	13765	13819	13873	13927	13981	14035	14089	14143
bo	16303	16305	16307	16309	16311	16313	16315	16317	16319	16321	16323	16325	16327
po	14197	14251	14305	14359	14413	14467	14521	14575	14629	14683	14737	14791	14845
bo	16329	16331	16333	16335	16337	16339	16341	16343	16345	16347	16349	16351	16353
po	14899	14953	15007	15061	15115	15169	15223	15277	15331	15385	15439	15493	15547
bo	16355	16357	16359	16361	16363	16365	16367	16369	16371	16373	16375	16377	16379
po	15601	15655	15709	15763	15817	15871	15925	15979	16033	16087	16141	16195	16249
bo	16381	16383											
po	16303	16357											