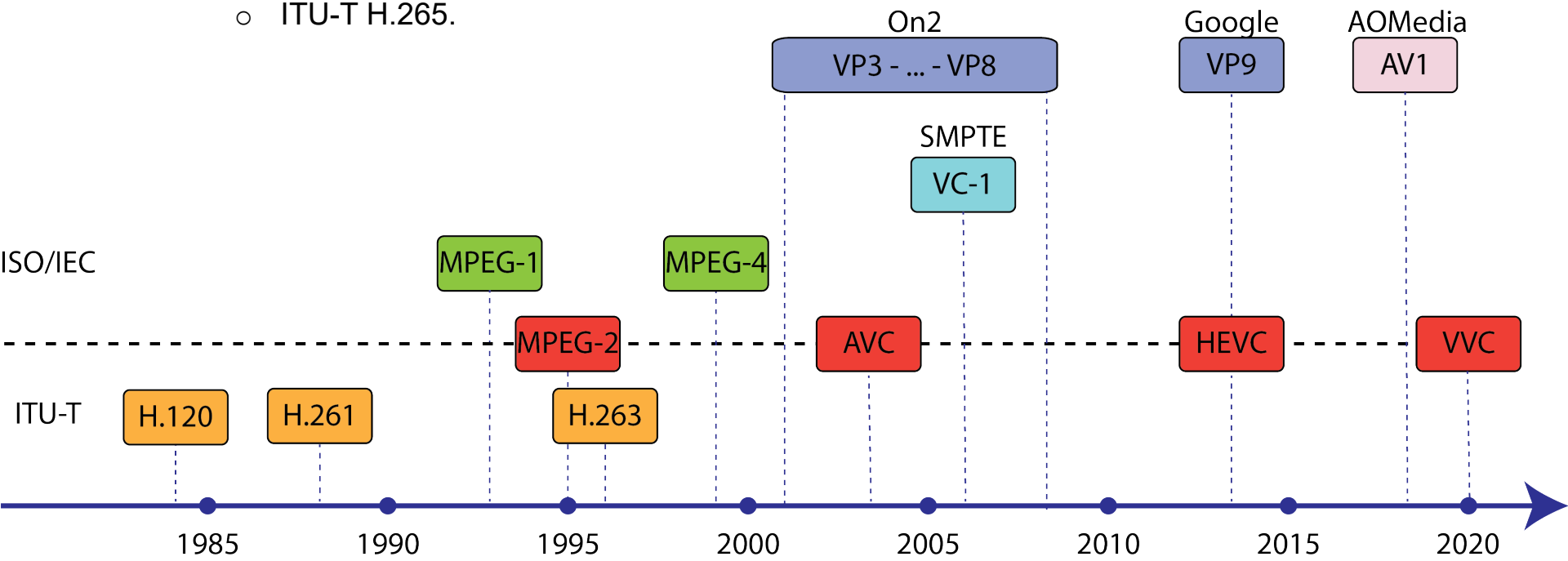
TV: TeleVisión – Plan 2010

HEVC

Contenido

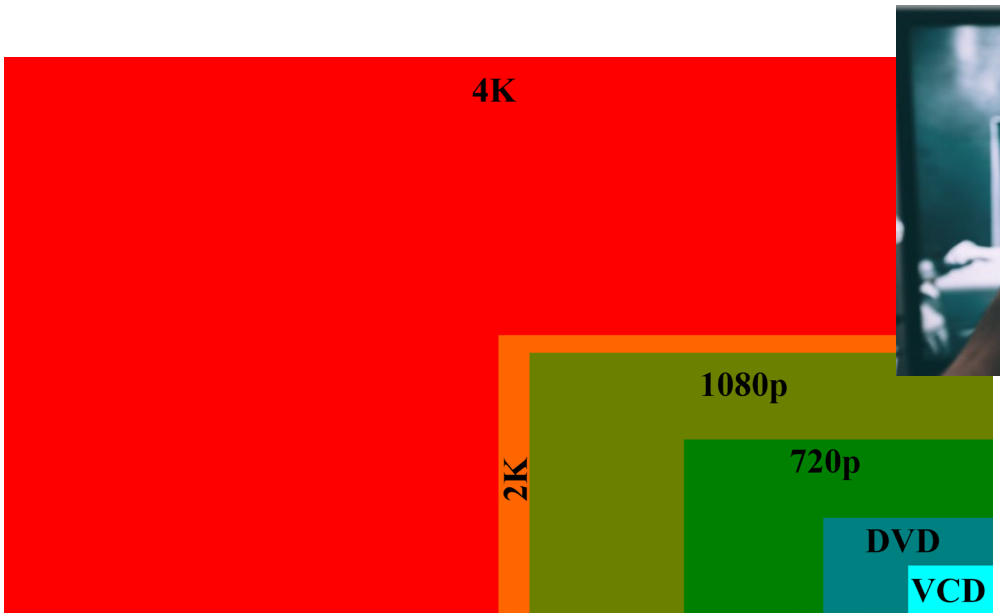
1 – Introducción (1)

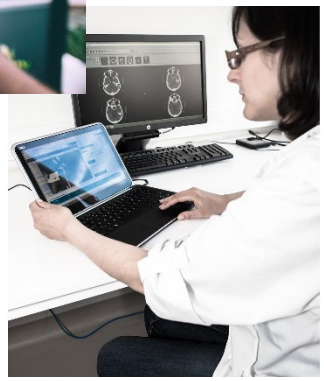
- HEVC (*High Efficiency Video Coding*):
  - Nuevo estándar con la capacidad de comprimir mucho más que cualquiera de los anteriores.
  - Creado por el *Joint Collaborative Team on Video Coding* (JCT-VC).
  - En desarrollo desde enero de 2010 → Estándar desde abril de 2013.
  - Denominaciones:
    - ISO/IEC 23008-2 (MPEG-H Parte 2).
    - ITU-T H.265.



1 – Introducción (2)

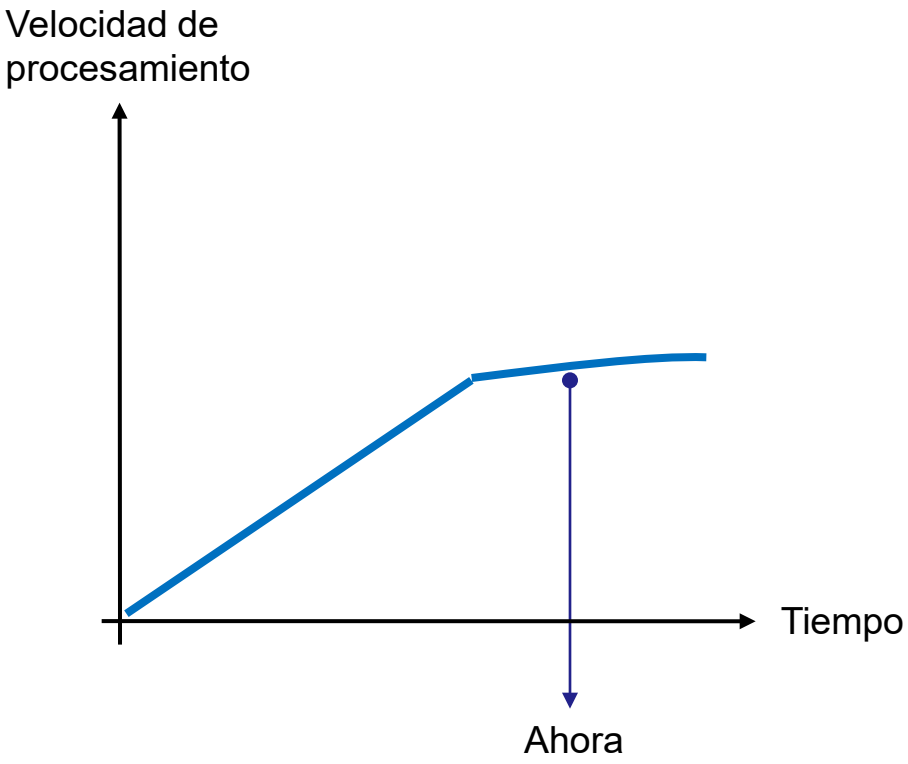
- ¿Por qué es necesario?
  - Nuevas necesidades comerciales y tecnológicas:
    - Resoluciones cada vez mayores → Ultra HD (4K) y 8K.
    - Demanda de mayor calidad de imagen (más bits y más imágenes por segundo).
    - Nuevos segmentos del mercado (por ejemplo, *healthcare*, o videojuegos).





1 – Introducción (3)

- ¿Por qué es necesario?
  - Las mejoras computacionales de los procesadores no siguen el curso esperado.
  - Es necesario paralelizar (procesadores con múltiples núcleos) → Se debe crear un estándar con algoritmos orientados a la paralelización.

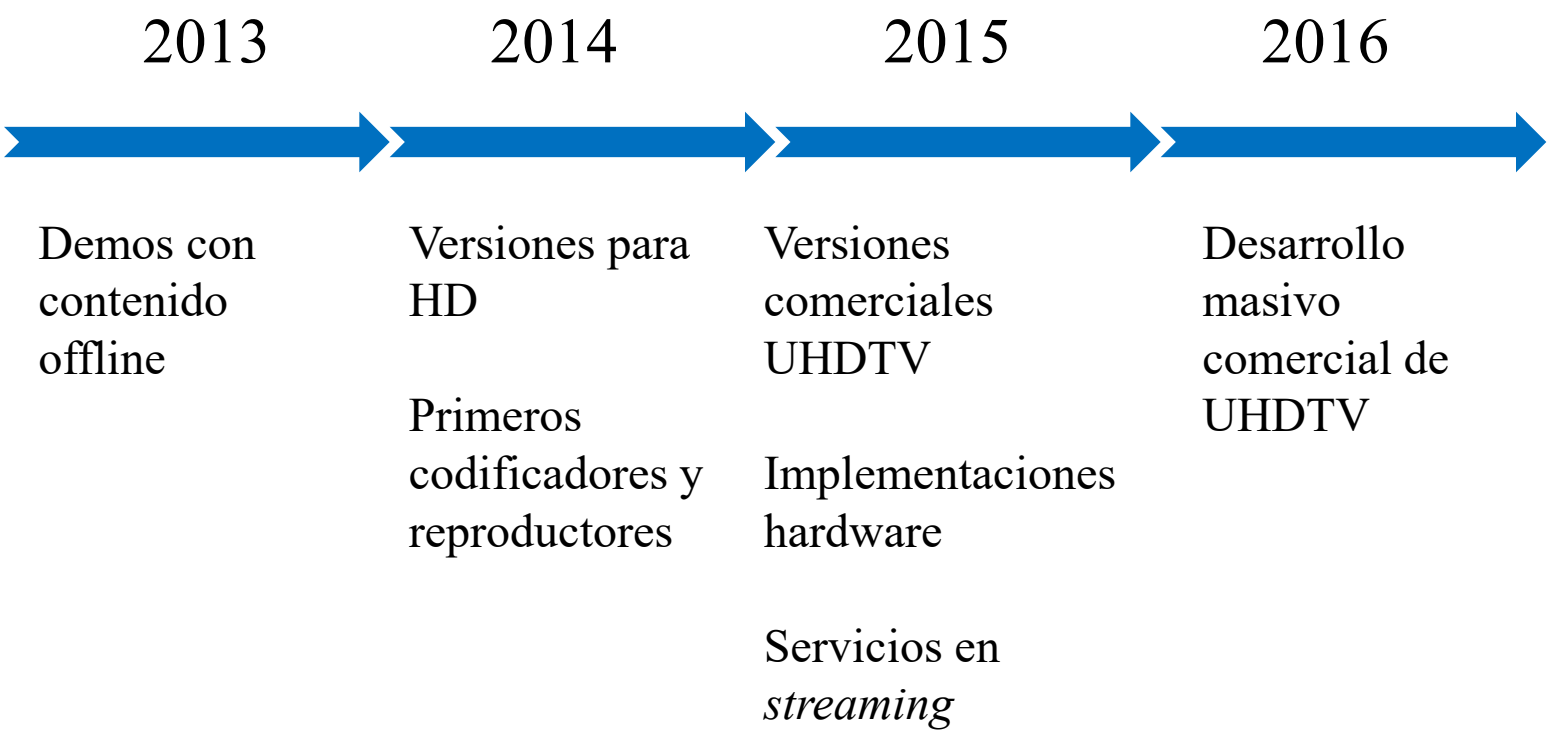


1 – Introducción (4)

- ¿Por qué es necesario?
  - Las nuevas tecnologías de transmisión (por ejemplo, DVB o LTE) requieren la transmisión de señales audiovisuales de muy distinto tipo:
    - Escalabilidad → Resolución, fps, tasa binaria...
    - También se ha de tener en cuenta el limitado uso del espectro → Se necesita comprimir.
  - La demanda de vídeo transmitido crece muy rápido:
    - Se estimó que en 2018 se transmitirían aproximadamente un millón de minutos de vídeo por segundo.

1 – Introducción (5)

- Industrialización:



1.1 – Objetivos (1)

- Principales:
  - Ser una referencia para la siguiente generación de dispositivos de captura y visualización de vídeo.
  - Mejorar la eficiencia de codificación → Menor tasa binaria:
    - ¿Cuánto? → Como mínimo a **la mitad que AVC**.
    - Problema → **Mayor complejidad computacional** (50% - 400% más).
  - Mejorar la resolución:
    - *Ultra High Definition* TV (UHD-TV) → 8K (8192 x 4320 píxeles).
  - Mejorar los métodos de procesamiento paralelo.

1.1 – Objetivos (2)

- Otros:
  - Permitir SVC (*Scalable Video Coding*).
  - Mejorar la calidad de la imagen:
    - Permitiendo cuantificar con 12 bits.
    - Con esquemas de crominancia 4:2:2 y 4:4:4.

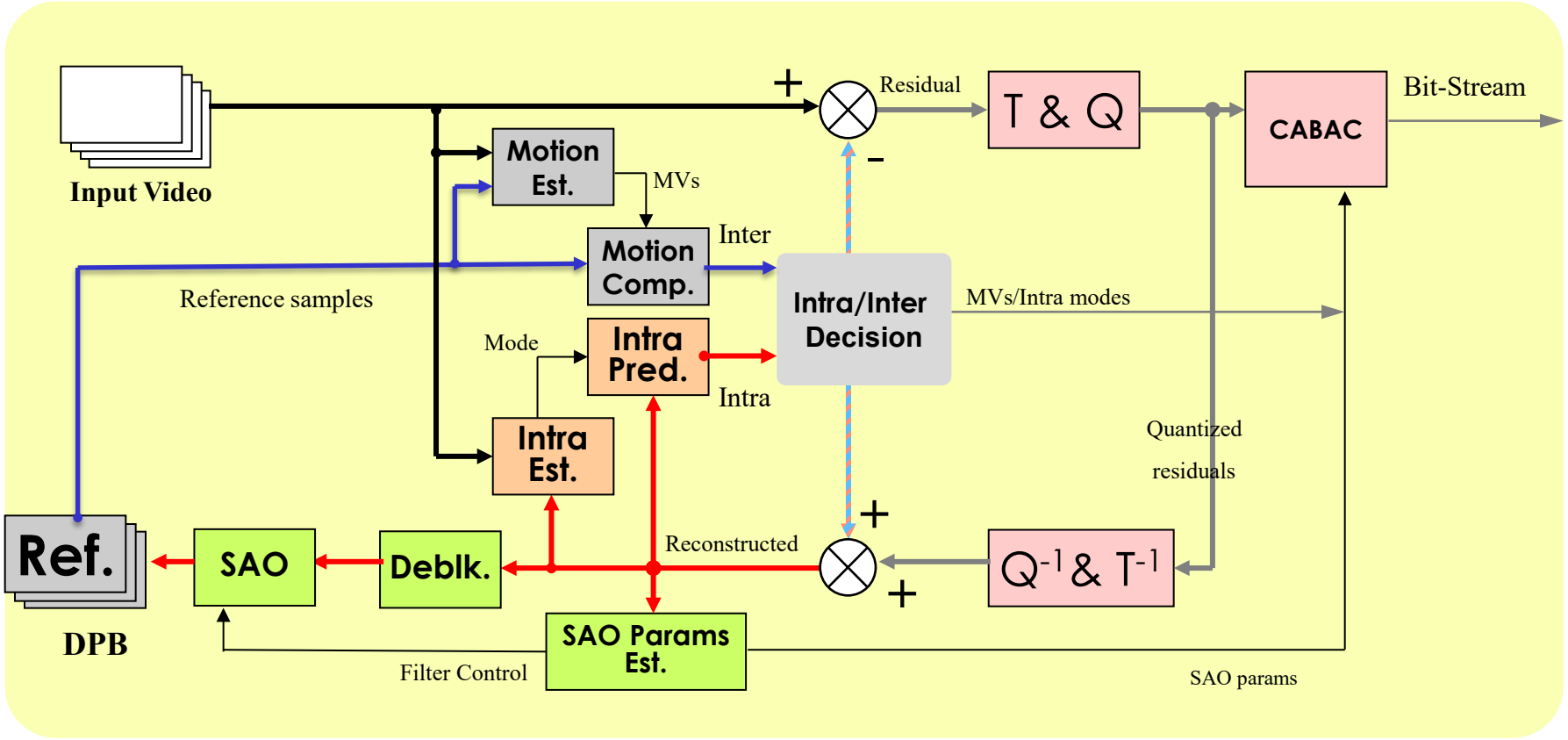
1.2 – Principales características (1)

- Sigue la misma estructura que los estándares previos:
  - Codificación asimétrica → Los descodificadores son mucho más sencillos que los codificadores.
  - Codificación híbrida predictivo-transformacional.
- Propone numerosas mejoras:
  - Particionado más flexible (ya no se usa la estructura típica de macrobloques y bloques).
  - Mayor flexibilidad en los modos de predicción intra.
  - Mayor número de posibles tamaños de bloques sobre los que aplicar la transformación.
  - Interpolación más sofisticada.
  - Filtro de *deblocking* más sofisticado.
  - Algoritmos de predicción más sofisticados (partiendo de una partición refinada) y señalización de modos más eficiente.
  - Características para adaptar los módulos al procesamiento en paralelo.

1.2 – Principales características (2)

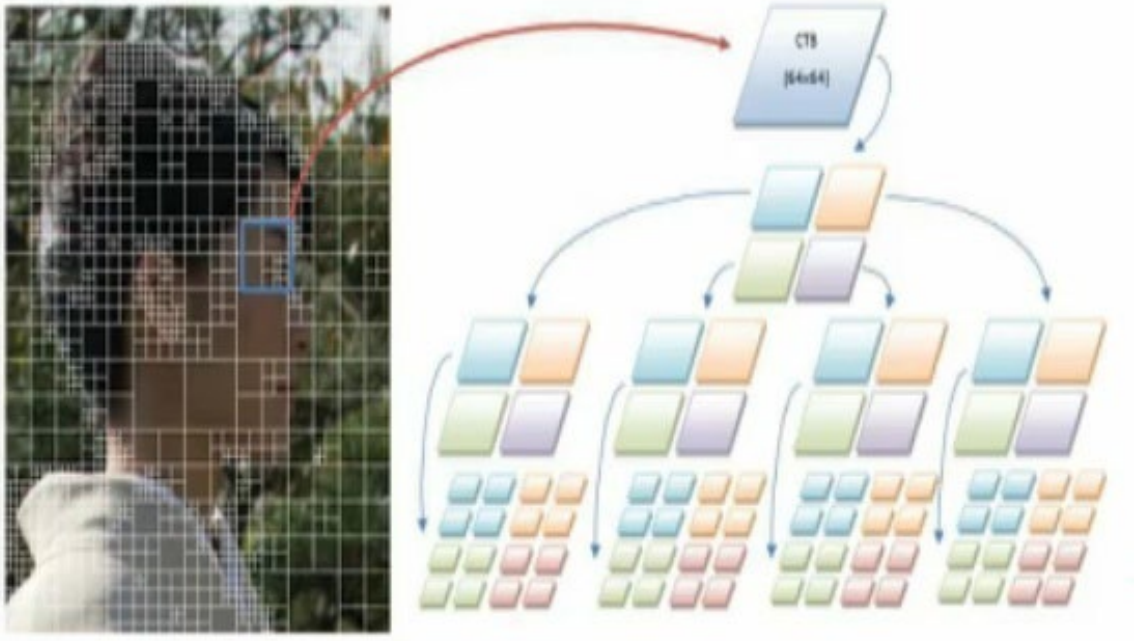
- Comparación con AVC:

2 - Arquitectura



3 – Estructura de datos (1)

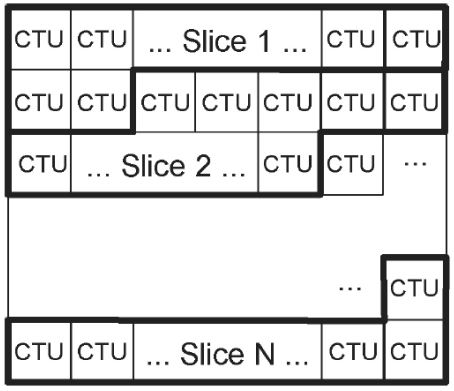
- HEVC permite un particionado muy flexible de los datos.
  - Por las mismas razones que en estándares previos → Propagación de errores, sincronización, etc.
  - Para aprovechar el procesamiento en paralelo.

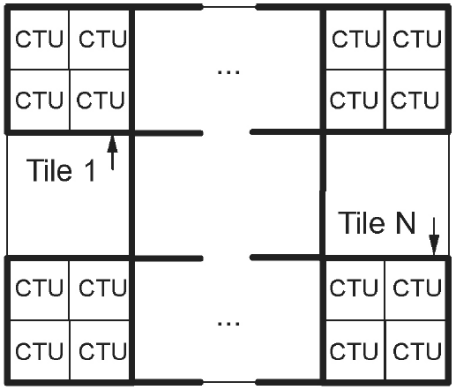


• Se sigue una estructura jerárquica y adaptativa, cuyo principal elemento es el **Coding Tree Unit (CTU)** → Son equivalentes a los macrobloques en estándares previos.

3 – Estructura de datos (2)

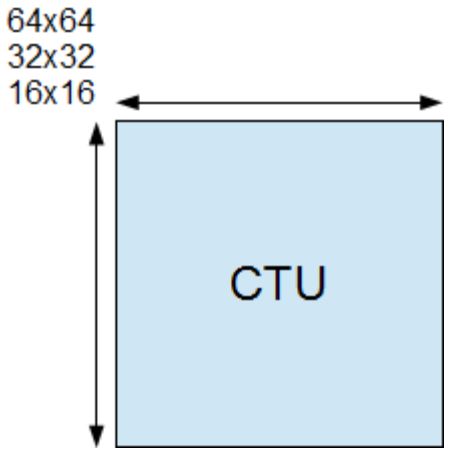
- Tiras (*slices*):
  - Su objetivo principal es la resincronización en caso de pérdida de datos en recepción.
  - Si son independientes entre sí se pueden procesar en paralelo.
  - Pueden contener un número variable de CTUs (el número dependerá de la tasa binaria objetivo).
- Azulejos o baldosas (*tiles*):
  - No existen en estándares previos.
  - Son independientes → Procesamiento en paralelo.
  - Número constante de CTUs → Para optimizar el procesamiento en paralelo.





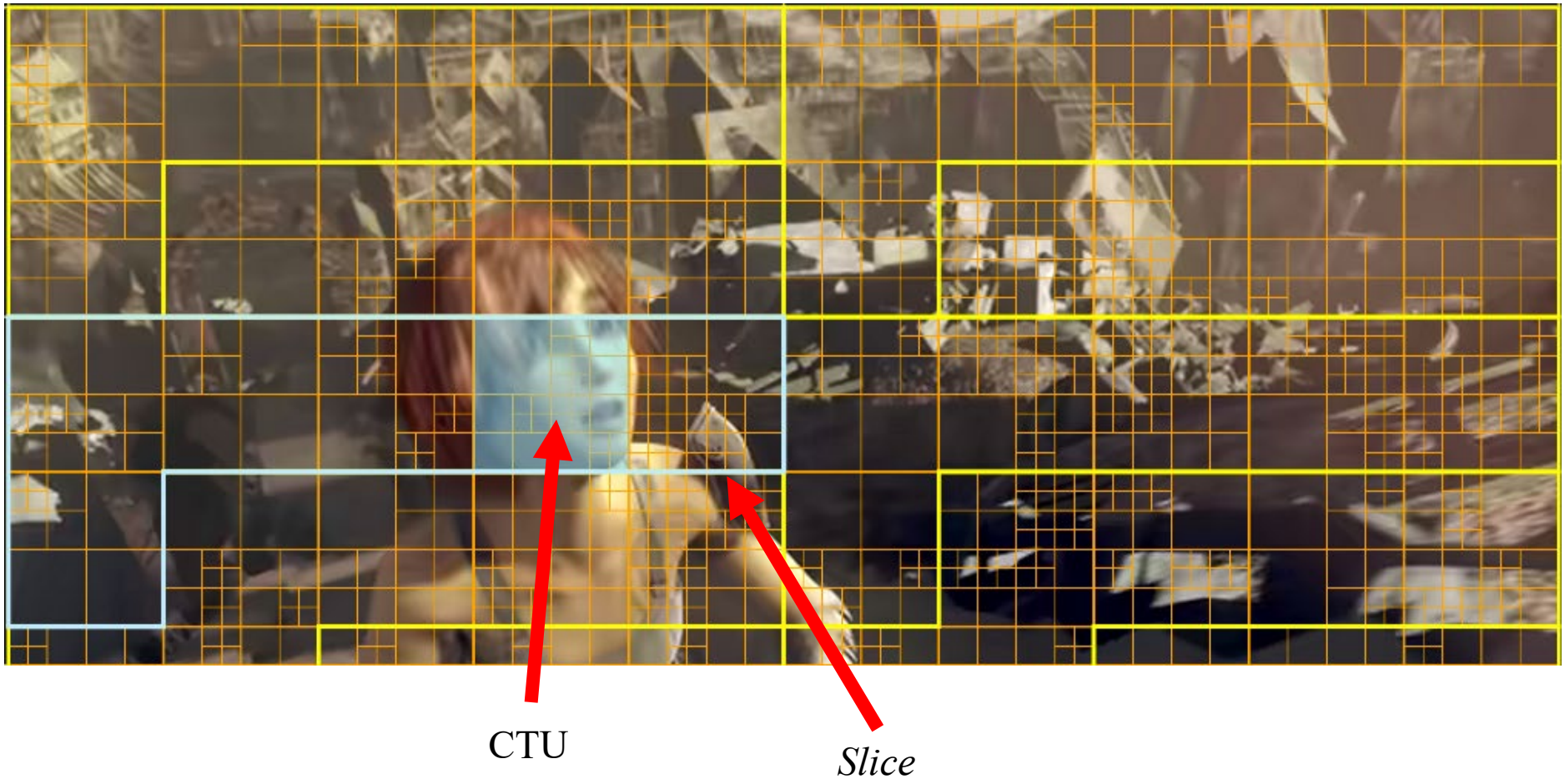
3 – Estructura de datos (3)

- CTU (*Coding Tree Unit*):
  - Unidad básica de procesamiento → Equivalente a los macrobloques en estándares previos.
  - Son cuadradas y de 3 posibles tamaños → 16x16, 32x32 o 64x64 píxeles:
    - Permiten dividir mejor las imágenes (mucha flexibilidad).
    - Los macrobloques (16x16) se quedaban pequeños para cubrir imágenes muy grandes (HD o UHD).
  - Son la raíz de una estructura en árbol que da lugar a:
    - Unidades de codificación (*coding units*, CUs).
    - Unidades de predicción (*prediction units*, PUs).
    - Unidades de transformación (*transform units*, TUs).



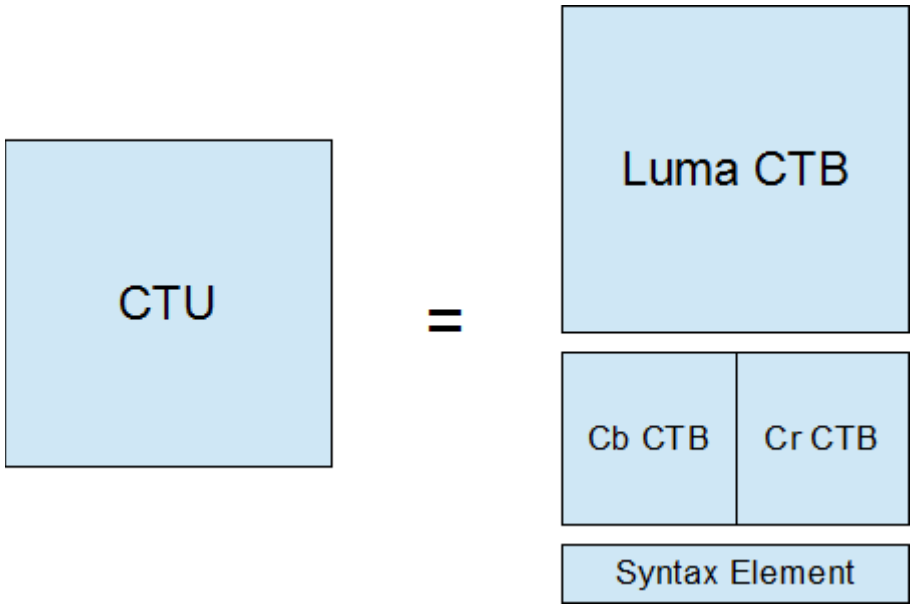
3 – Estructura de datos (4)

- CTU (*Coding Tree Unit*):



3 – Estructura de datos (5)

- CTB (*Coding Tree Block*):
  - Una CTU puede estar formada por:
    - Una única CTB → Sólo luminancia.
    - Tres CTBs → Luminancia y crominancias.



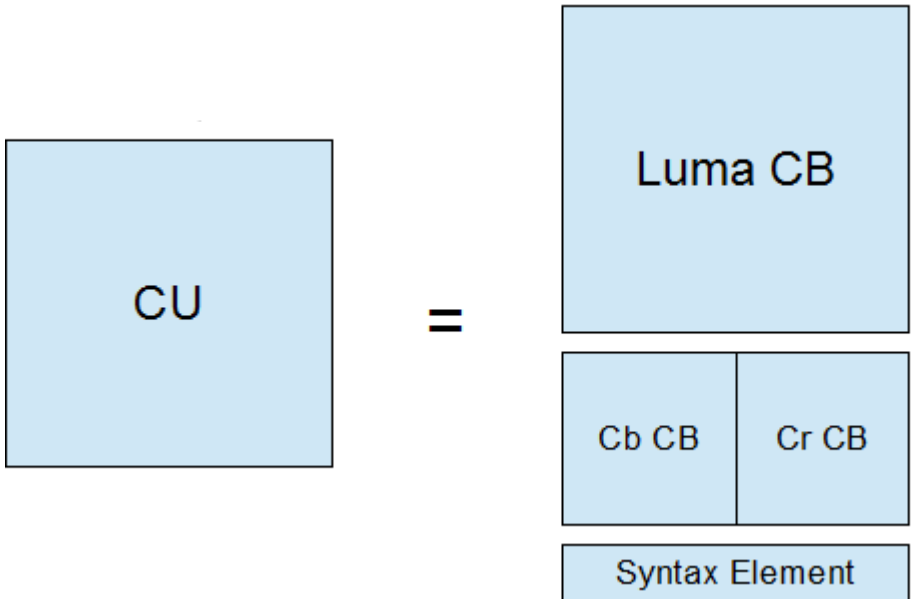
• Los CTBs de luminancia tienen el mismo tamaño que los correspondientes CTUs.

• En función del esquema de muestreo de crominancias, el tamaño de los CTBs será:

- 4:4:4 → Igual que el de la CTU.
- 4:2:2 → La mitad de columnas que la CTU
- 4:2:0 → Un cuarto de la CTU.

3 – Estructura de datos (6)

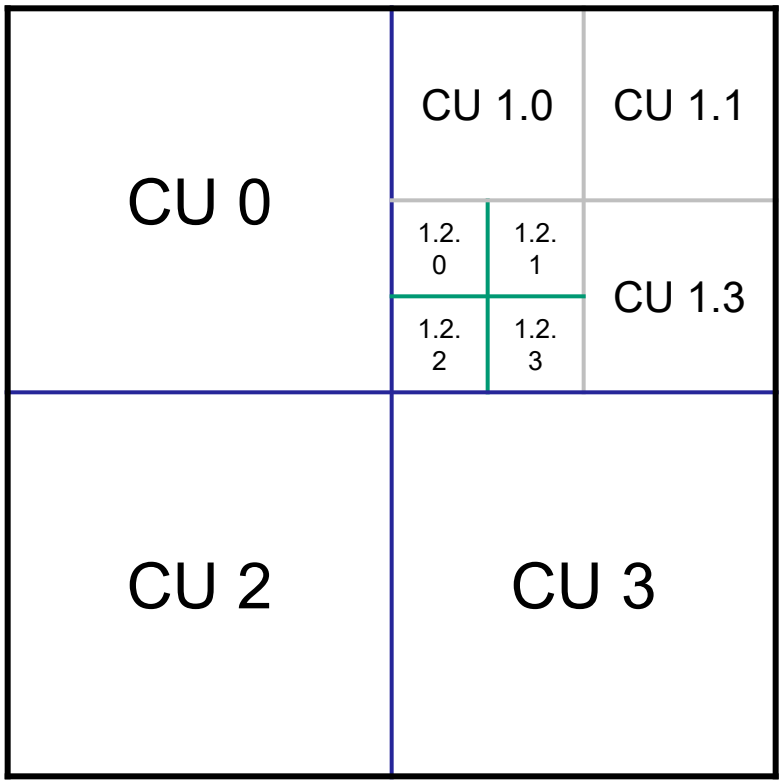
- CU (*Coding Unit*):
  - Determina si la codificación es intra o inter.
  - Su tamaño máximo es el de la CTU.
  - Su tamaño mínimo es de 8x8 píxeles.
  - Se puede dividir una única vez para formar PUs.

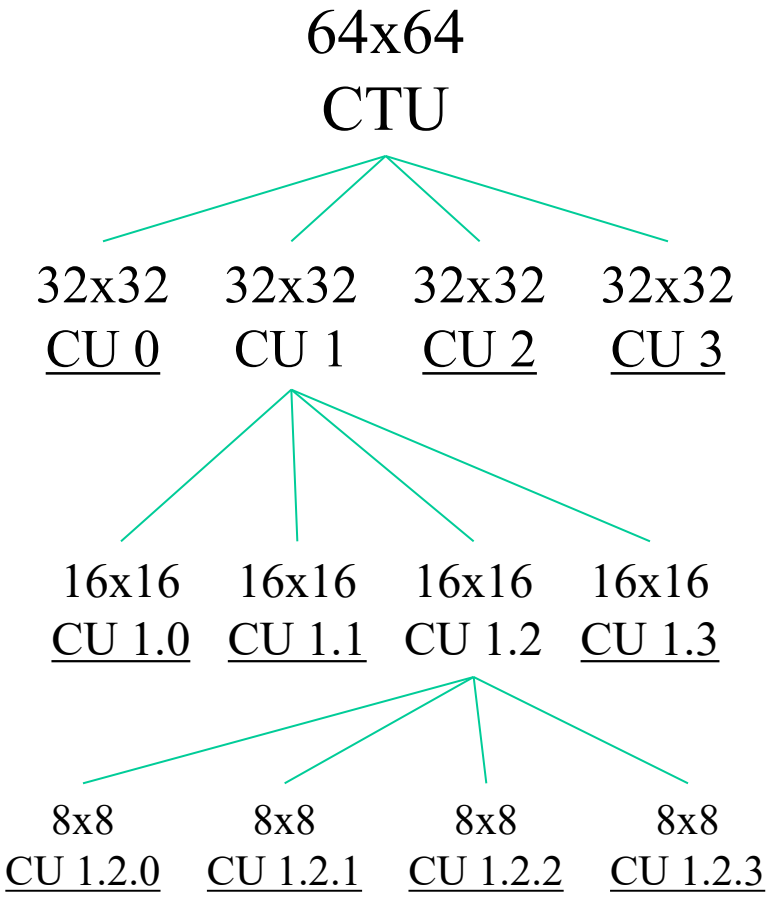


- Al igual que antes, una CU puede dividirse en:
  - Un CB.
  - Tres CBs.

3 – Estructura de datos (7)

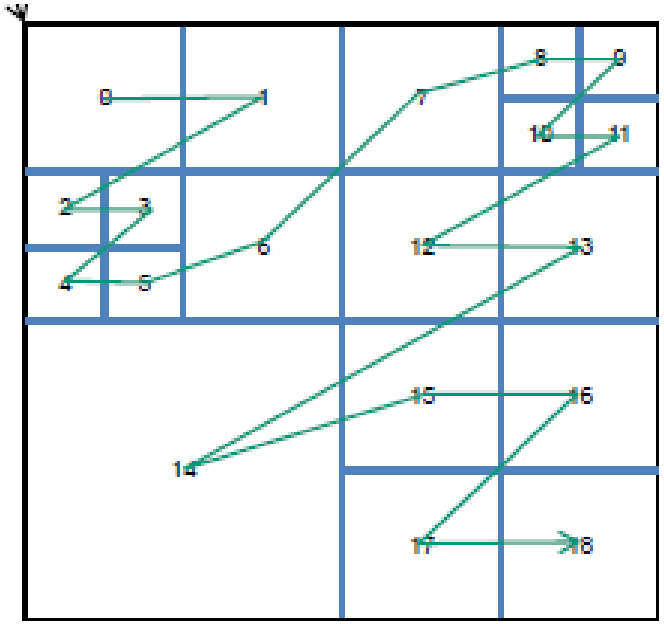
- Ejemplo de división de una CTU en CUs:

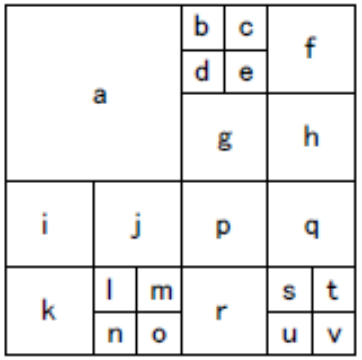


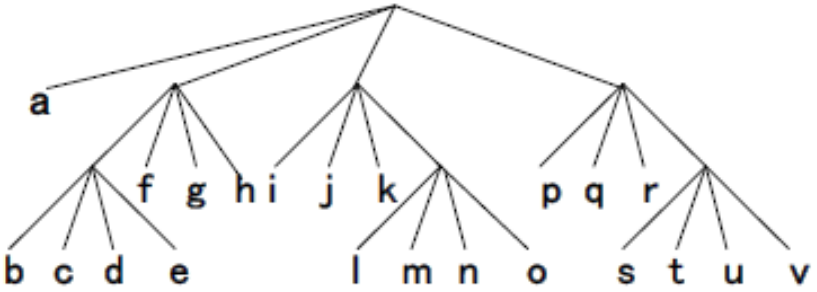


3 – Estructura de datos (8)

- Escaneado de las CUs:







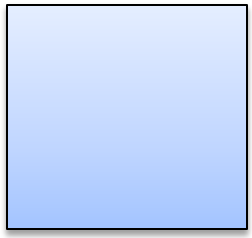
3 – Estructura de datos (9)

- PU (*Prediction Unit*):
  - Se decide el modo de predicción a aplicar.
  - Su tamaño máximo es el de la CU.
  - Su tamaño mínimo es de 4x4 píxeles.
  - Al igual que las estructuras anteriores, consta de 1 o 3 PBs (*Prediction Blocks*).
  - En el caso de predicción tipo intra:
    - Sólo se permiten las divisiones simétricas.
  - En el caso de predicción tipo inter:
    - Las divisiones pueden ser simétricas o asimétricas.

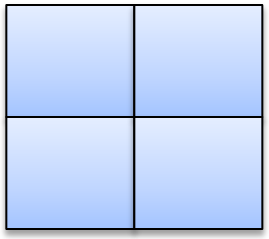
3 – Estructura de datos (10)

- CU - intra:
  - Si la CU no ha llegado a su tamaño mínimo → La PU será idéntica a la CU.
  - Si la CU ha llegado a 8x8 píxeles → Se podrá decidir entre:
    - No dividirla.
    - Dividirla en 4 PUs de idéntico tamaño.

CU de tamaño: 2*N*x2*N*



1 PU (2*N*x2*N*) por CU

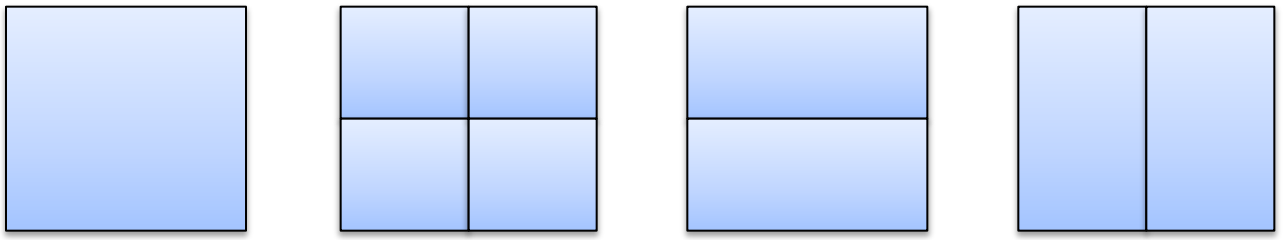


4 PUs (*N*x*N*) por CU

3 – Estructura de datos (11)

- CU - inter:
  - Puede dar lugar a 1, 2 o 4 PUs.
  - Las divisiones pueden ser simétricas o asimétricas.
  - La división en 4 PUs sólo es posible si la CU es de 8x8 píxeles.
  - Hay 4 posibles divisiones simétricas:

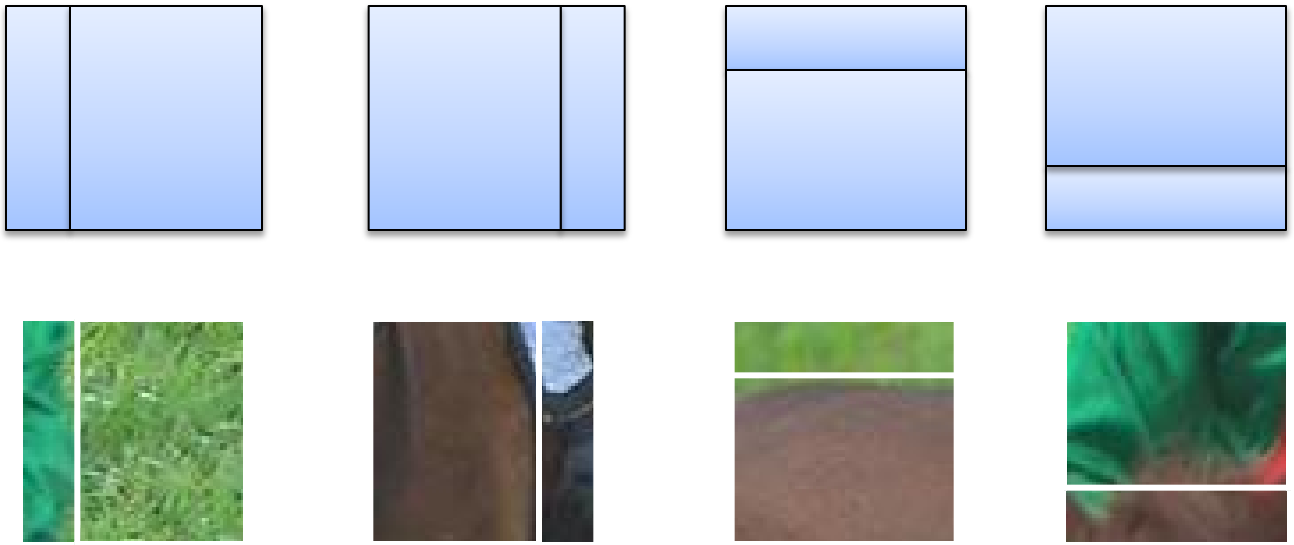
CU de tamaño: 2*N*x2*N*



1 PU (2Nx2N) 4 PUs (NxN) 2 PUs (2NxN) 2 PUs (Nx2N)

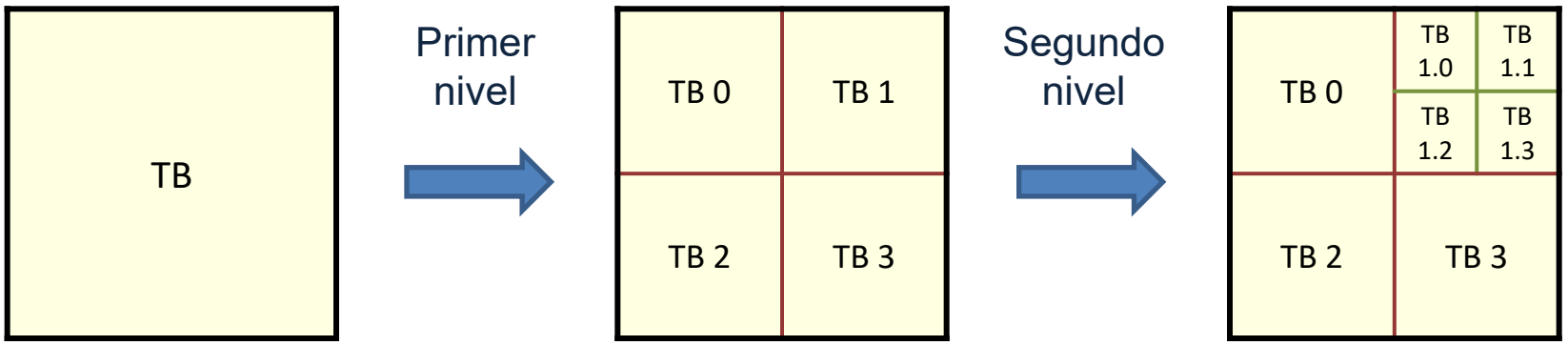
3 – Estructura de datos (12)

- CU - inter:
  - Hay 4 posibles divisiones asimétricas:
    - Sólo se permiten cuando la CU es de 32×32 o superior.
    - Una PU tendrá un lado de tamaño N y la otra PU lo tendrá de tamaño $N/4$.

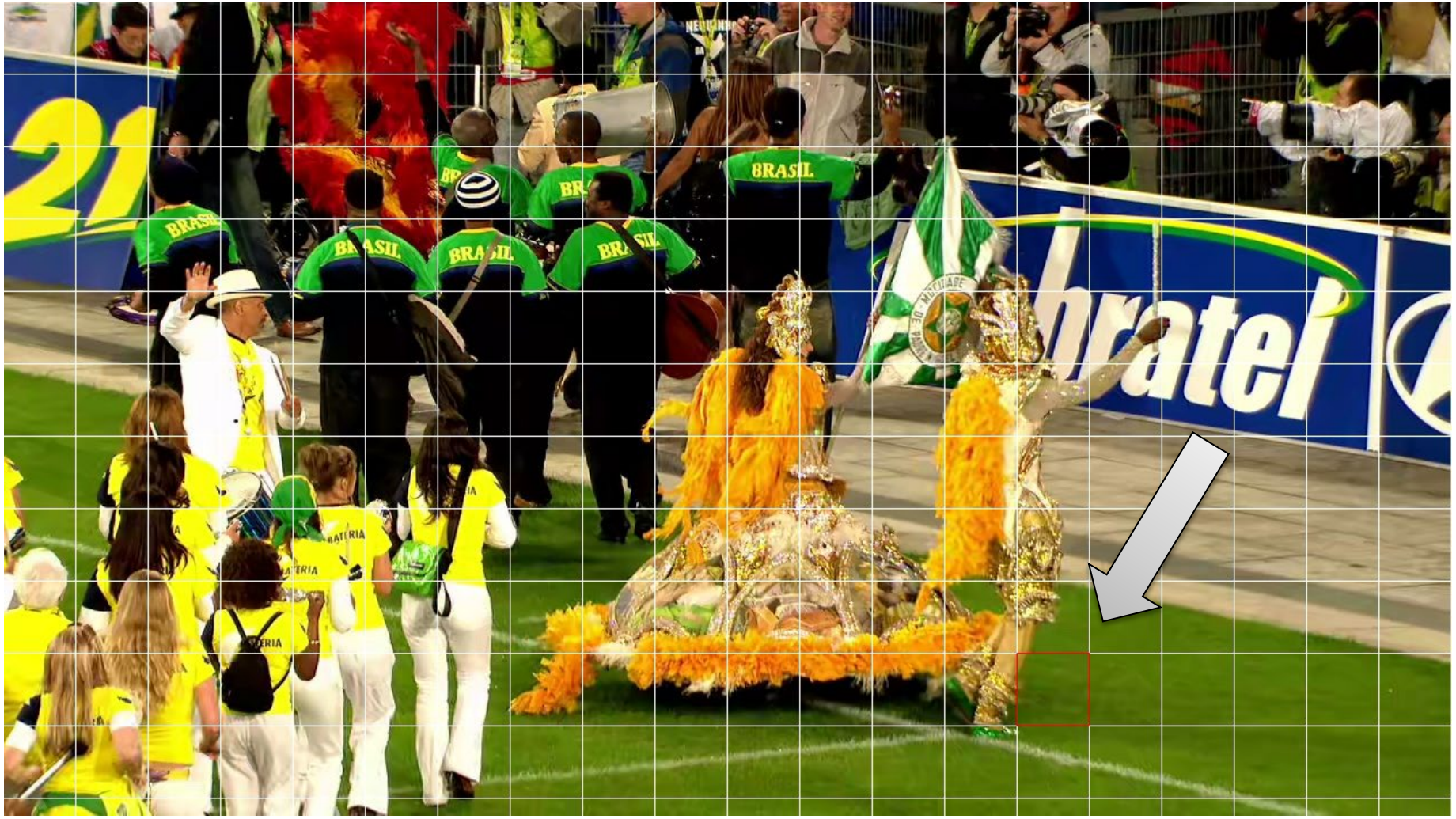


3 – Estructura de datos (13)

- TU (*Transform Unit*):
  - Es la unidad básica para la transformación y la cuantificación.
  - Su raíz es una CU.
  - Puede ser idéntica a una CU o dividirse en unidades de menor tamaño.
  - Sus tamaños pueden ser: 4x4, 8x8, 16x16 y 32x32.
  - Al igual que las estructuras anteriores, consta de 1 o 3 TBs (*Transform Blocks*).



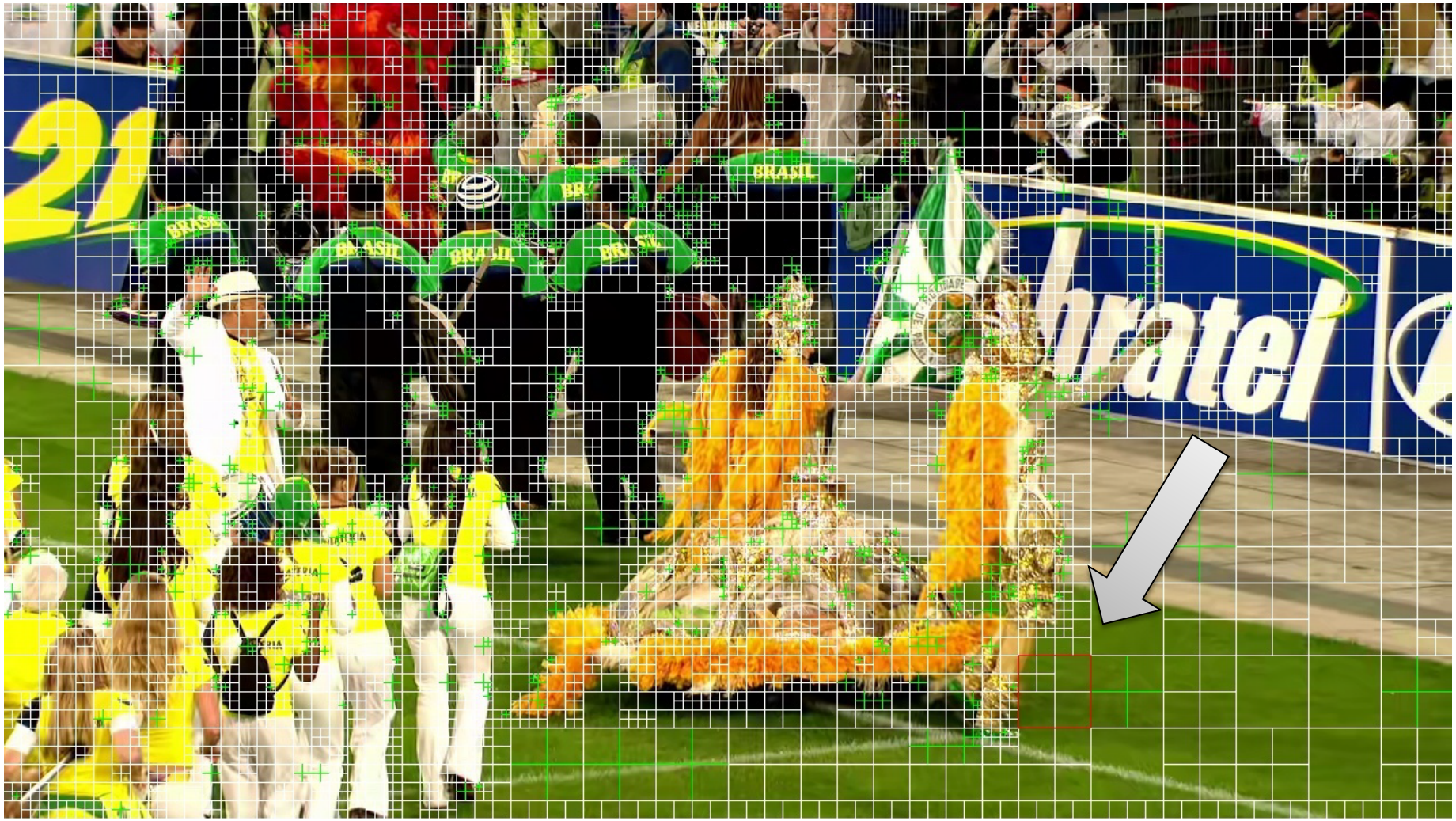
3 – Estructura de datos (14)



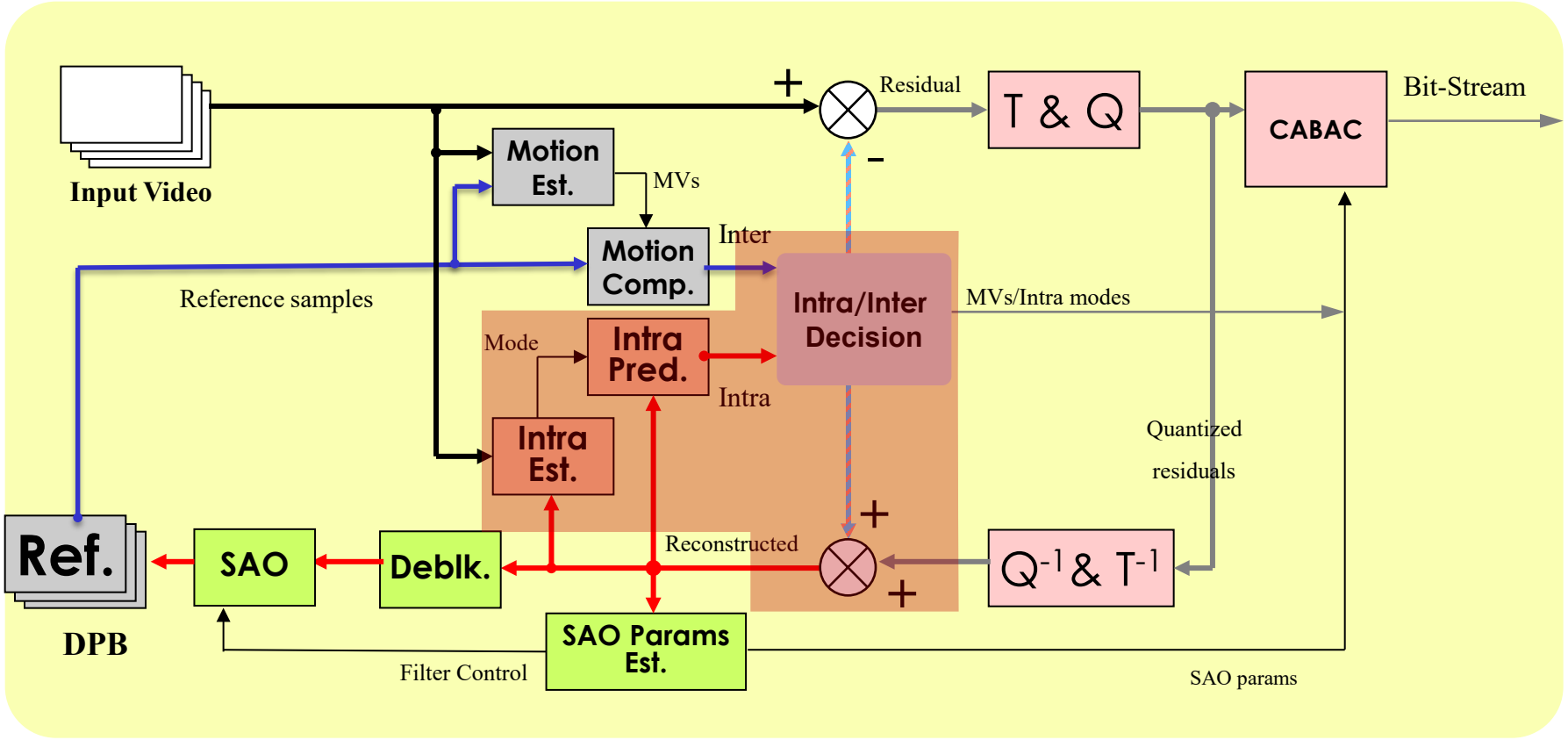
3 – Estructura de datos (15)

3 – Estructura de datos (16)

3 – Estructura de datos (17)



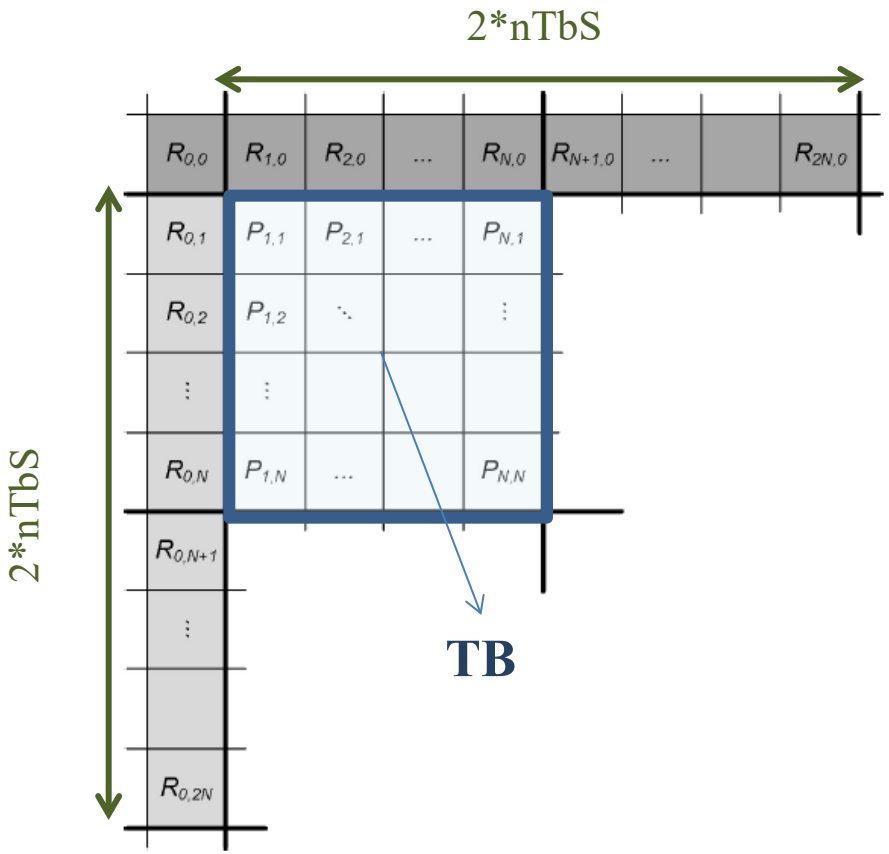
4.1 – Predicción intra-cuadro (1)



4.1 – Predicción intra-cuadro (2)

- Se aplica a CUs completas.
- Aunque el modo de predicción se decide para cada PU, la predicción se lleva a cabo de forma independiente para cada TU (TU ≤ PU).
- Hay 35 posibles modos de predicción:
  - Modo 0 → *Planar*.
  - Modo 1 → DC.
  - Modos 2 a 34 → Direccionales (en AVC hay sólo 8).
- Se selecciona el modo que minimiza el error entre la TU predicha y la TU original.
- Para la crominancia sólo hay 5 modos.

4.1 – Predicción intra-cuadro (3)

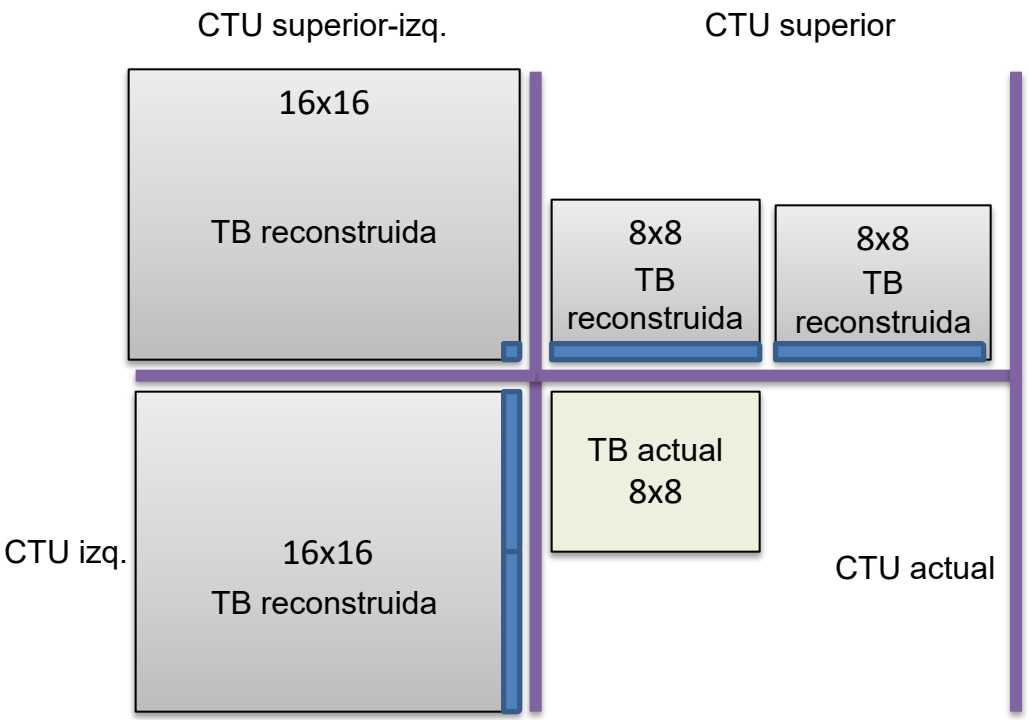


Cada TU se predice a partir de los píxeles más próximos de las TUs lindantes (descodificadas)

→ Similar a lo que se hace en AVC.

TB Size (nTbS): 4, 8, 16 or 32

4.1 – Predicción intra-cuadro (4)



- A diferencia de AVC, se tienen en cuenta datos a la izquierda y por debajo del TB actual.
- Esto es porque que en HEVC, debido a la gran variedad de tamaños de bloque, la existencia de estos datos es más frecuente.

4.1 – Predicción intra-cuadro (5)

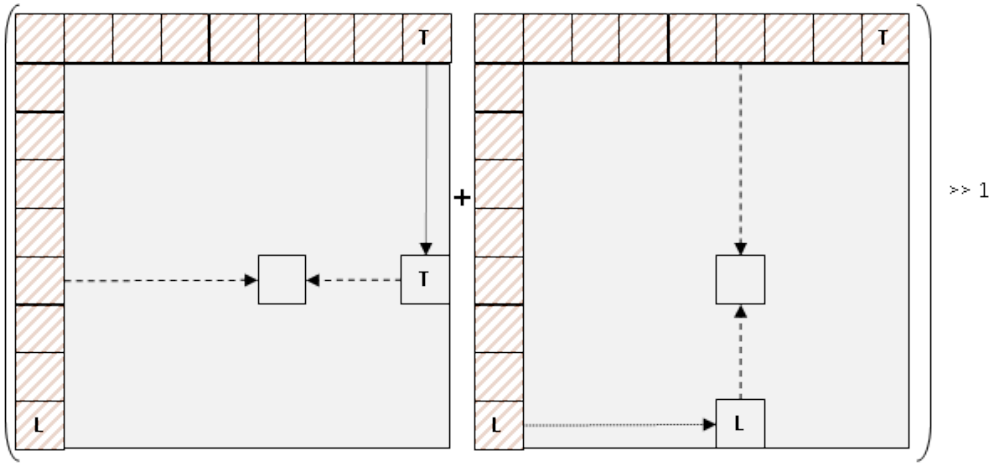
- ¿Qué ocurre cuando no existen muestras de referencia?:
  - Se extrapolan los datos.
  - Esto puede suceder en los bordes de la imagen, en los bordes de una tira (slice) o cuando los datos de referencia todavía no han sido codificados (*z-order*).

Caso	Sup.	Sup.-der.	Izq.	Izq.-abajo
1	X	X	X	X
2	X	X		
3		X		
4			X	X
5				X
6		X		X

4.1 – Predicción intra-cuadro (6)

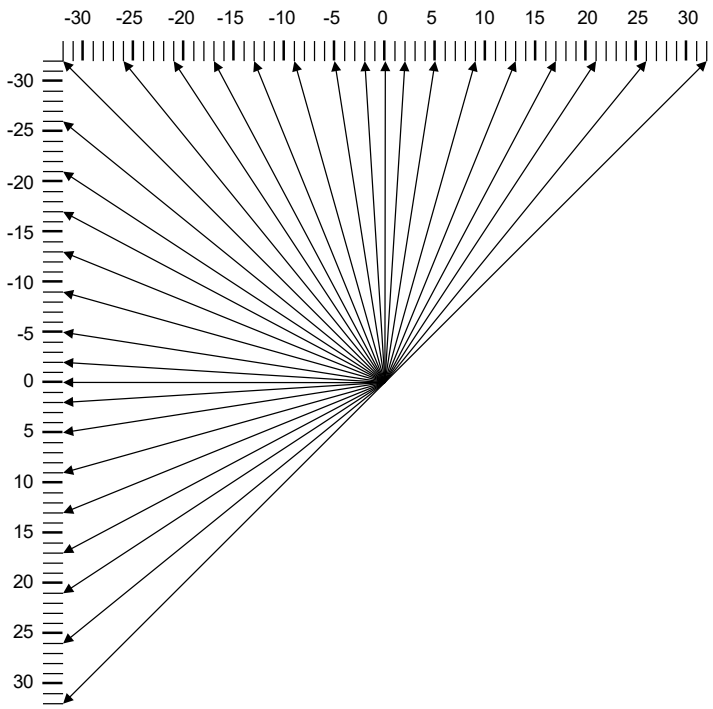
- Modo 0 (*planar*):
  - Es útil en regiones con variaciones suaves.
  - Consiste en una predicción bilineal → Resultado de la media entre dos interpolaciones lineales.

$$P^{V}_{x,y} = (N - y) \cdot R_{x,0} + y \cdot R_{0,N+1}$$
$$P^{H}_{x,y} = (N - x) \cdot R_{0,y} + x \cdot R_{N+1,0}$$
$$P_{x,y} = \left(P^{V}_{x,y} + P^{H}_{x,y} + N\right) >> \left(\log_2(N) + 1\right)$$



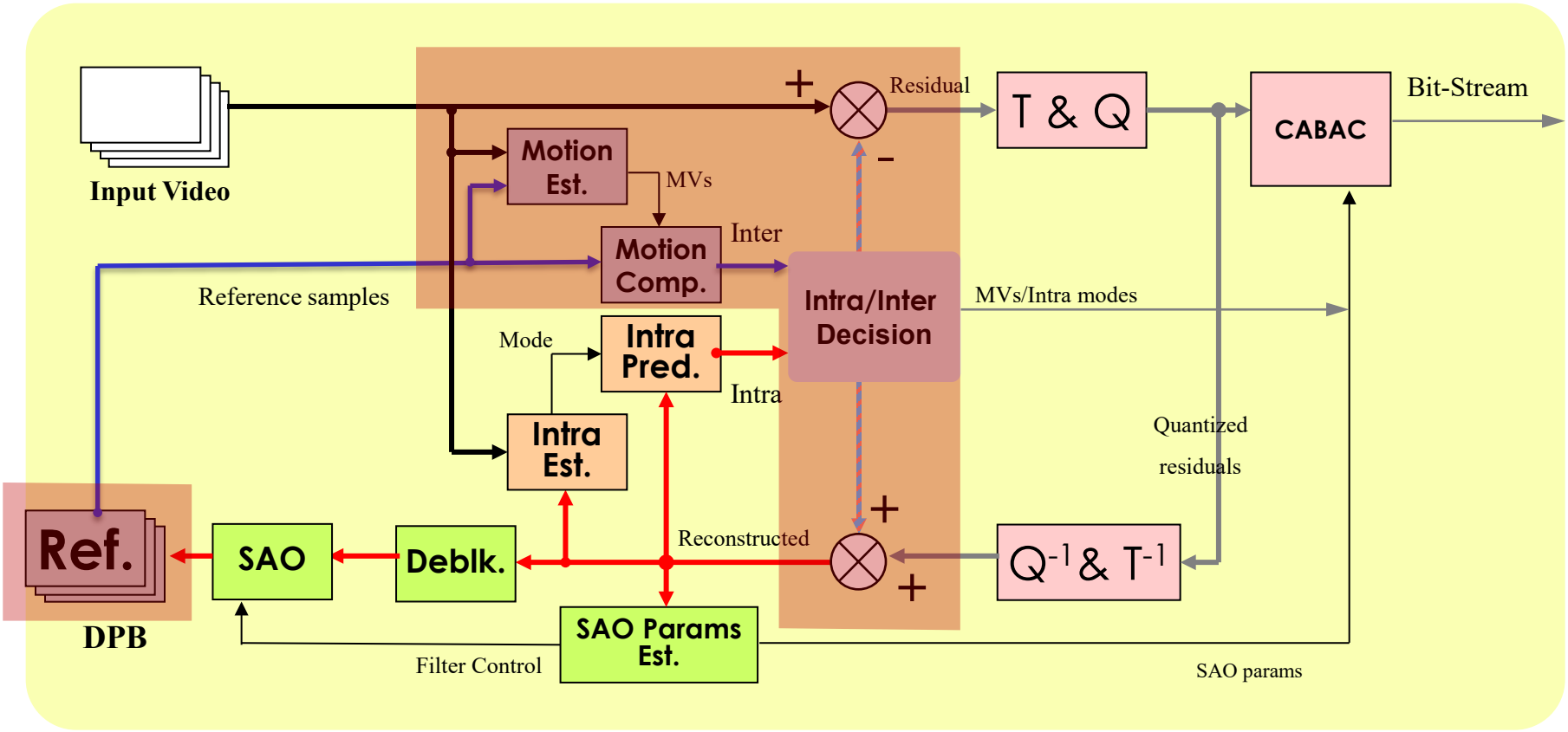
4.1 – Predicción intra-cuadro (7)

- Modos 2-34 (direccionales):
  - El descodificador debe dar soporte a 132 posibles combinaciones:
    - 4 posibles tamaños de bloque: 4x4, 8x8, 16x16 y 32x32.
    - 33 modos (direcciones).



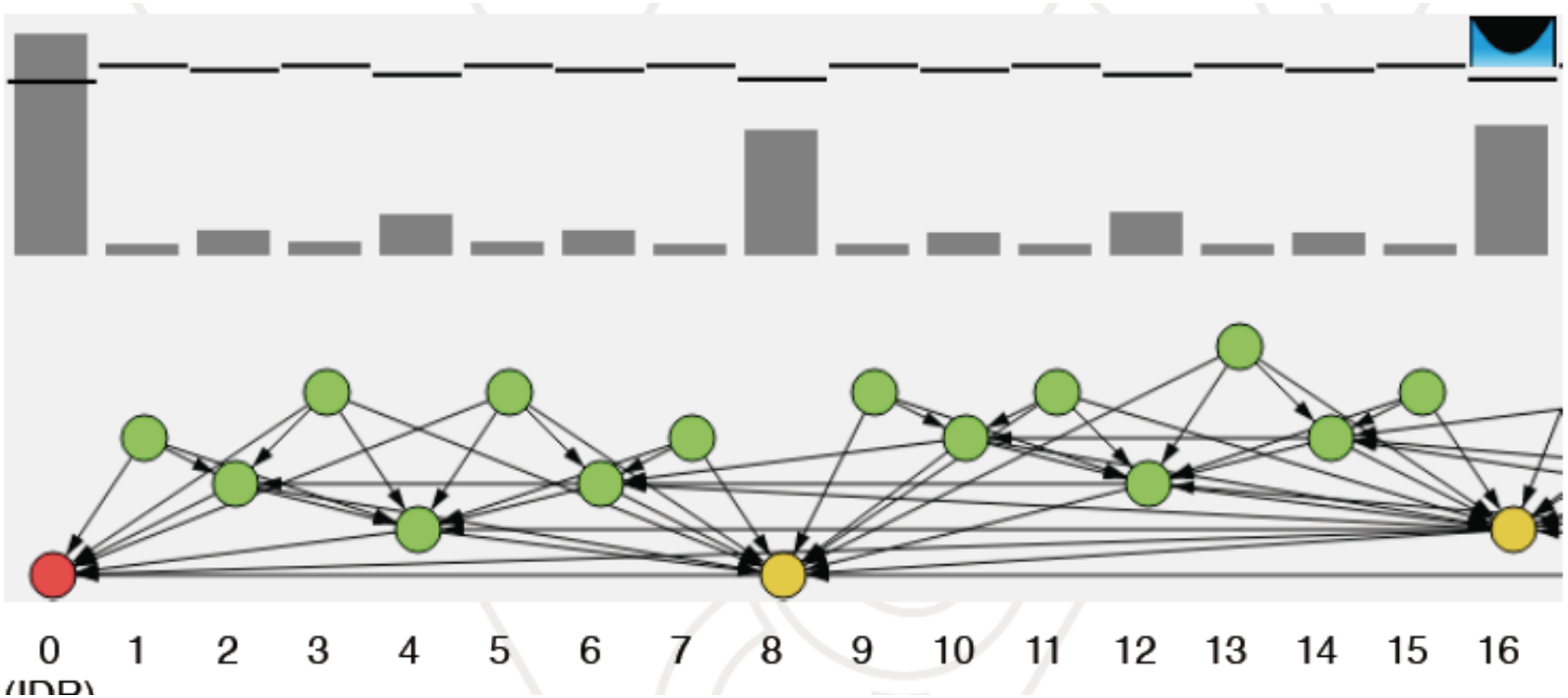
- Las direcciones consideradas están adaptadas a las características de la visión humana:
  - Los patrones más típicos y que mejor distinguimos son los horizontales y verticales.
  - Menor densidad de modos según nos alejamos de estos patrones.

4.1 – Predicción inter-cuadro (1)



4.2 – Predicción inter-cuadro (2)

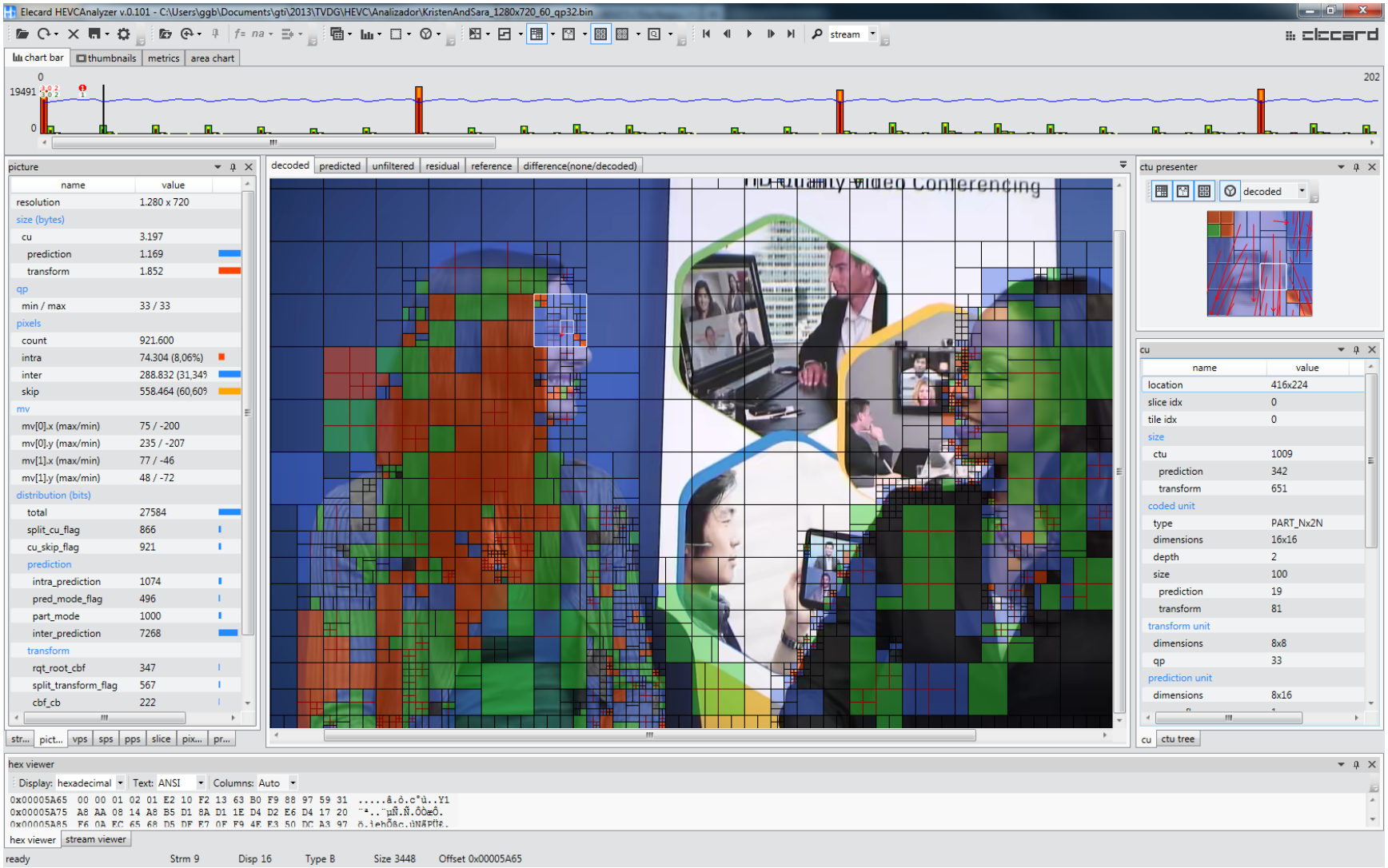
- La primera imagen se codifica en modo intra.
- Las siguientes pueden codificarse en modo intra y/o inter:
  - Tomando como referencia una, dos o más imágenes previamente codificadas.
- Se aplica sobre cada PU.



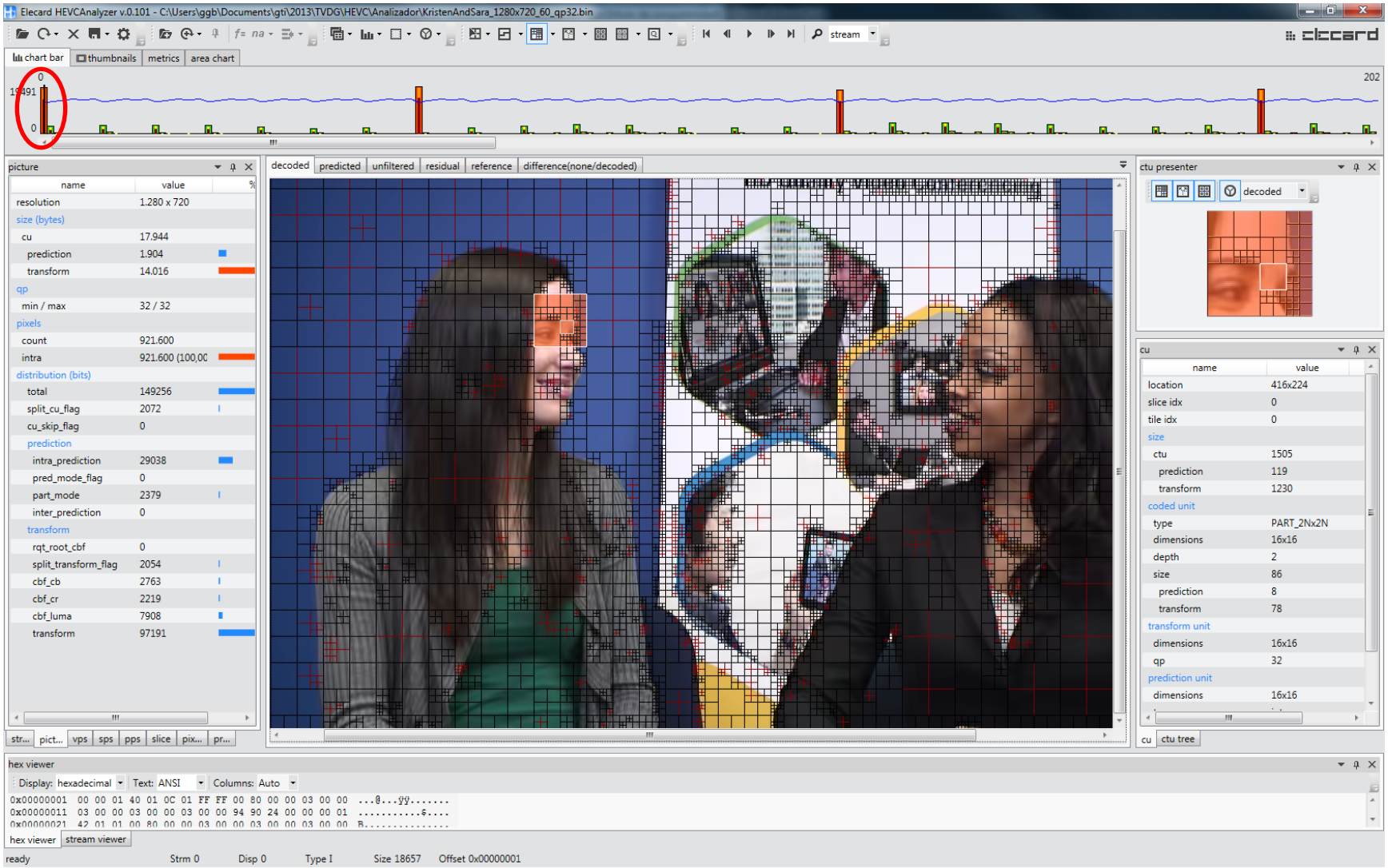
4.2 – Predicción inter-cuadro (3)

- Principales diferencias con estándares previos:
  - Estimación de movimiento con precisión de hasta:
    - 1/4 de píxel para la luminancia.
    - 1/8 de píxel para la crominancia.
  - Filtros de interpolación en posiciones fraccionarias:
    - Luminancia → Separable, FIR de 7-8 muestras.
    - Crominancias → Separable, FIR de 4 muestras.
    - Mejor precisión que AVC → Filtro más largo y con menor redondeo.
  - Dos modos de predicción de vectores de movimiento:
    - AMVP (*Advanced Motion Vector Prediction*).
    - *Merge mode*.

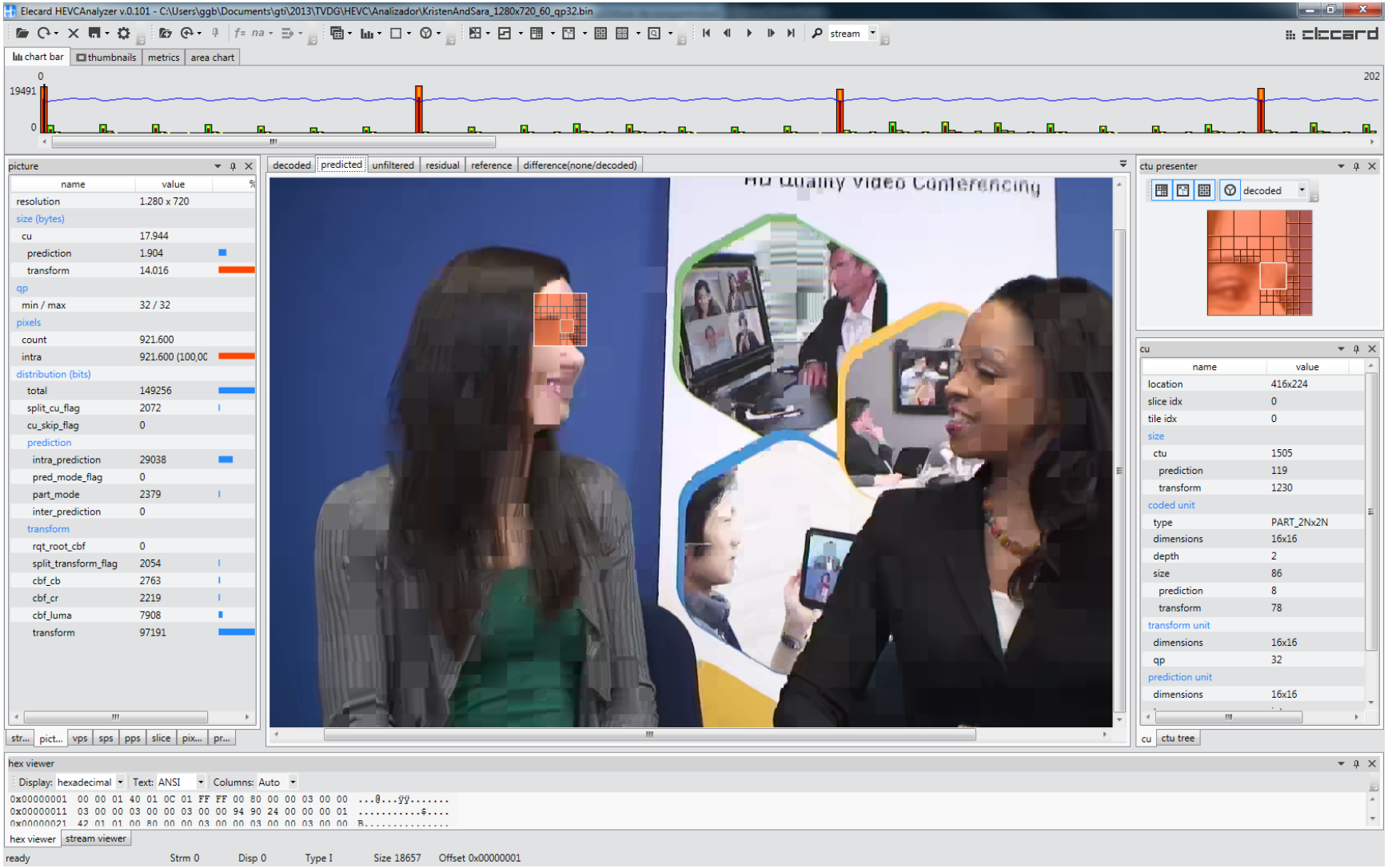
4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (1)



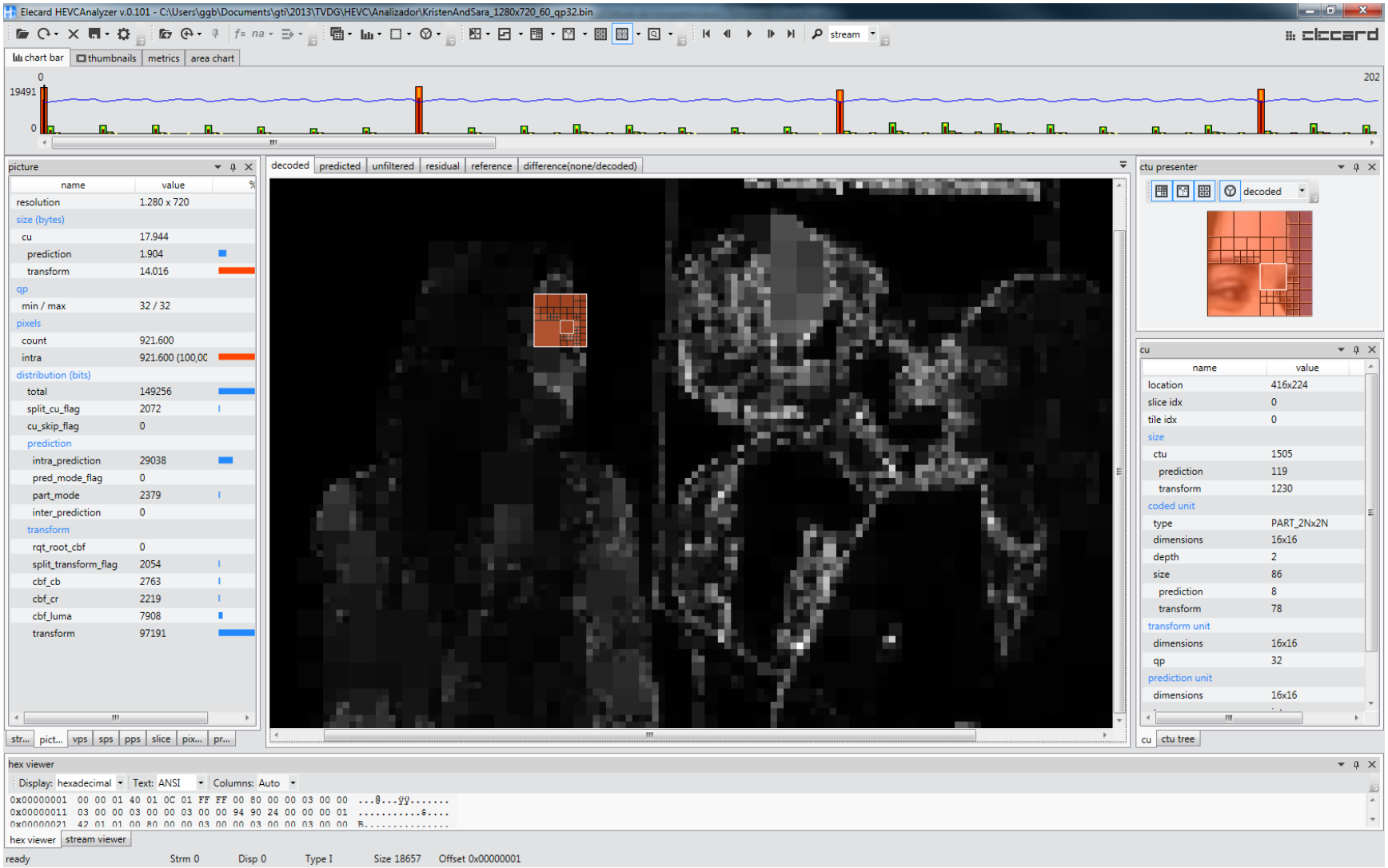
4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (2)



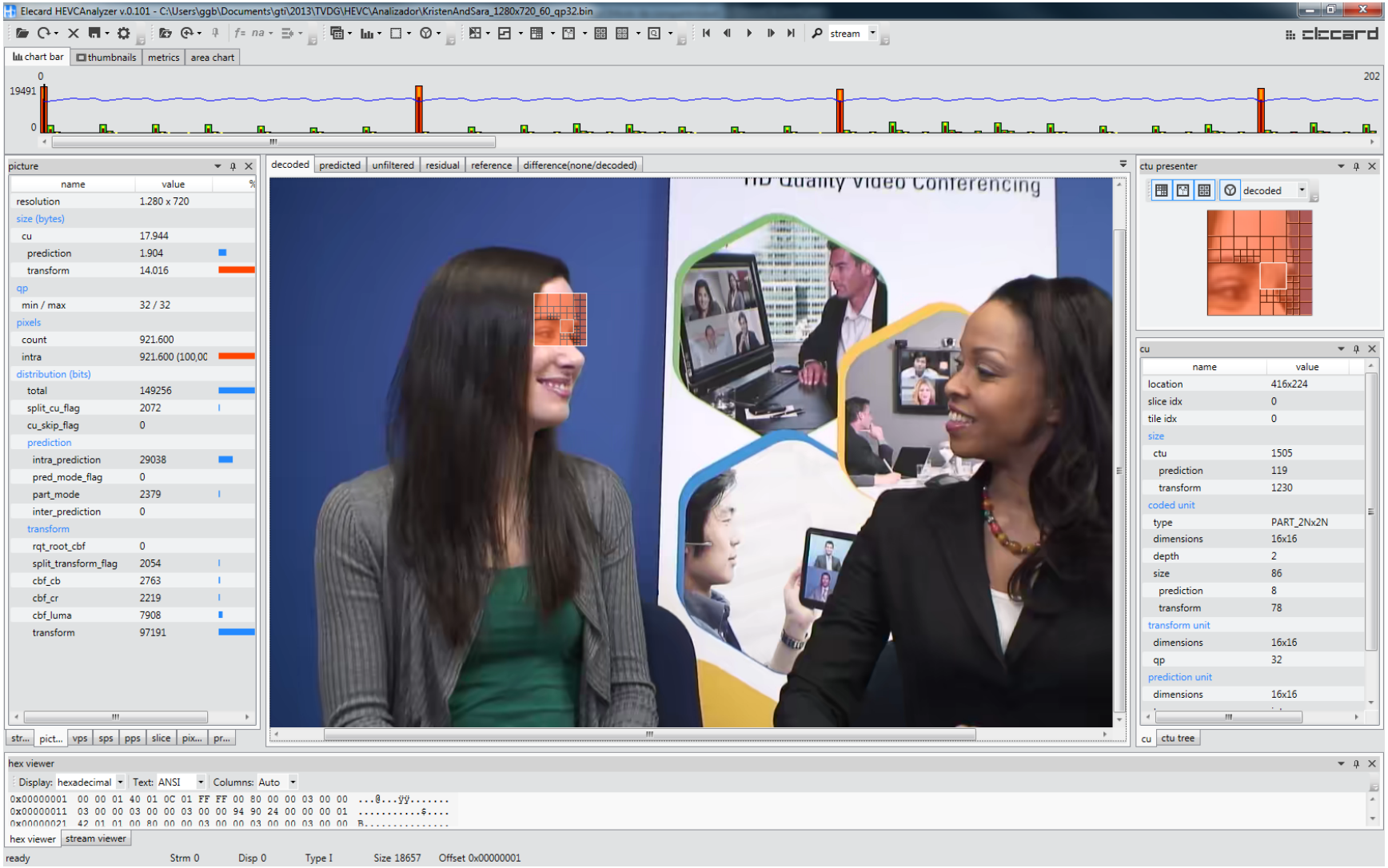
4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (3)



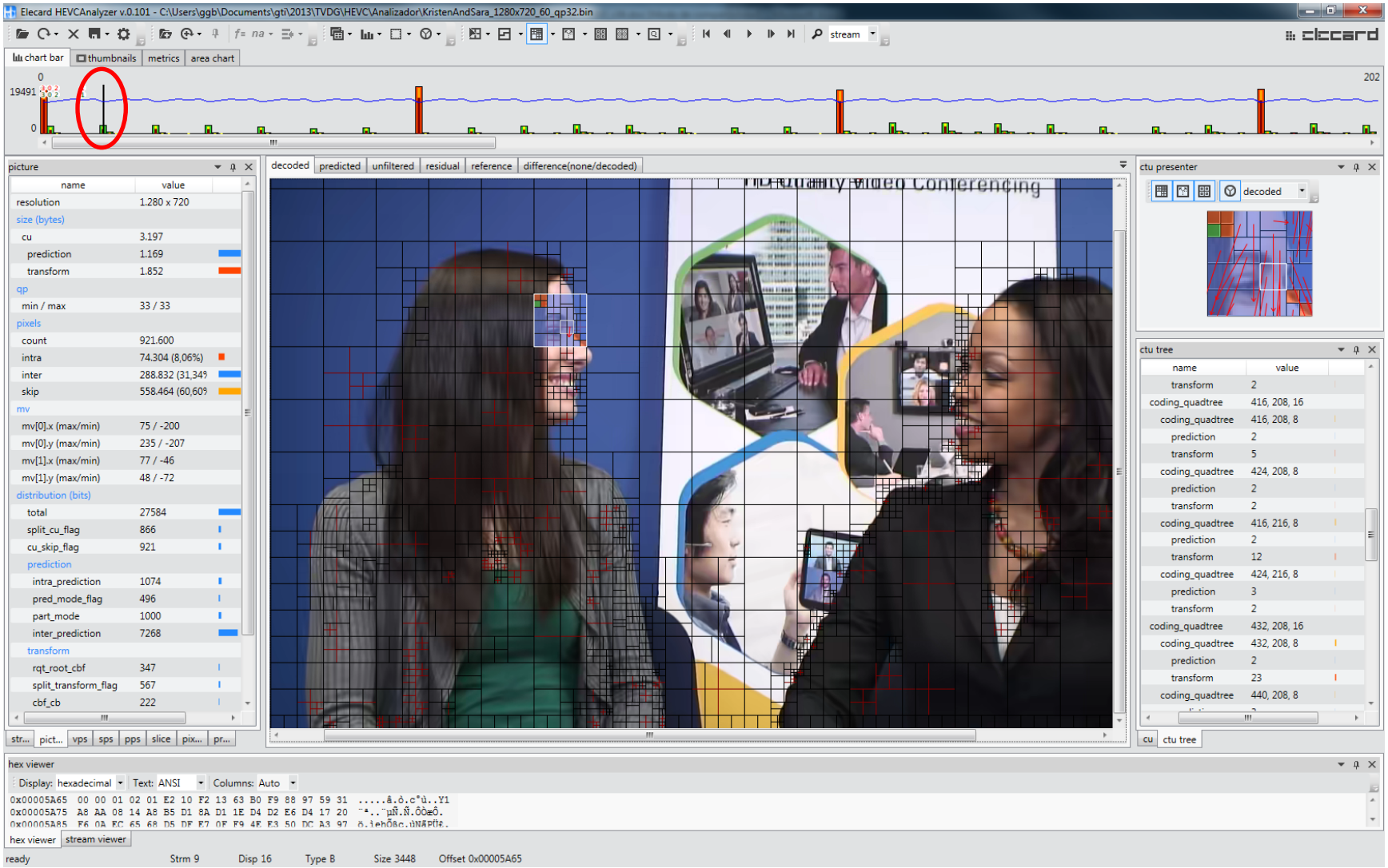
4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (4)



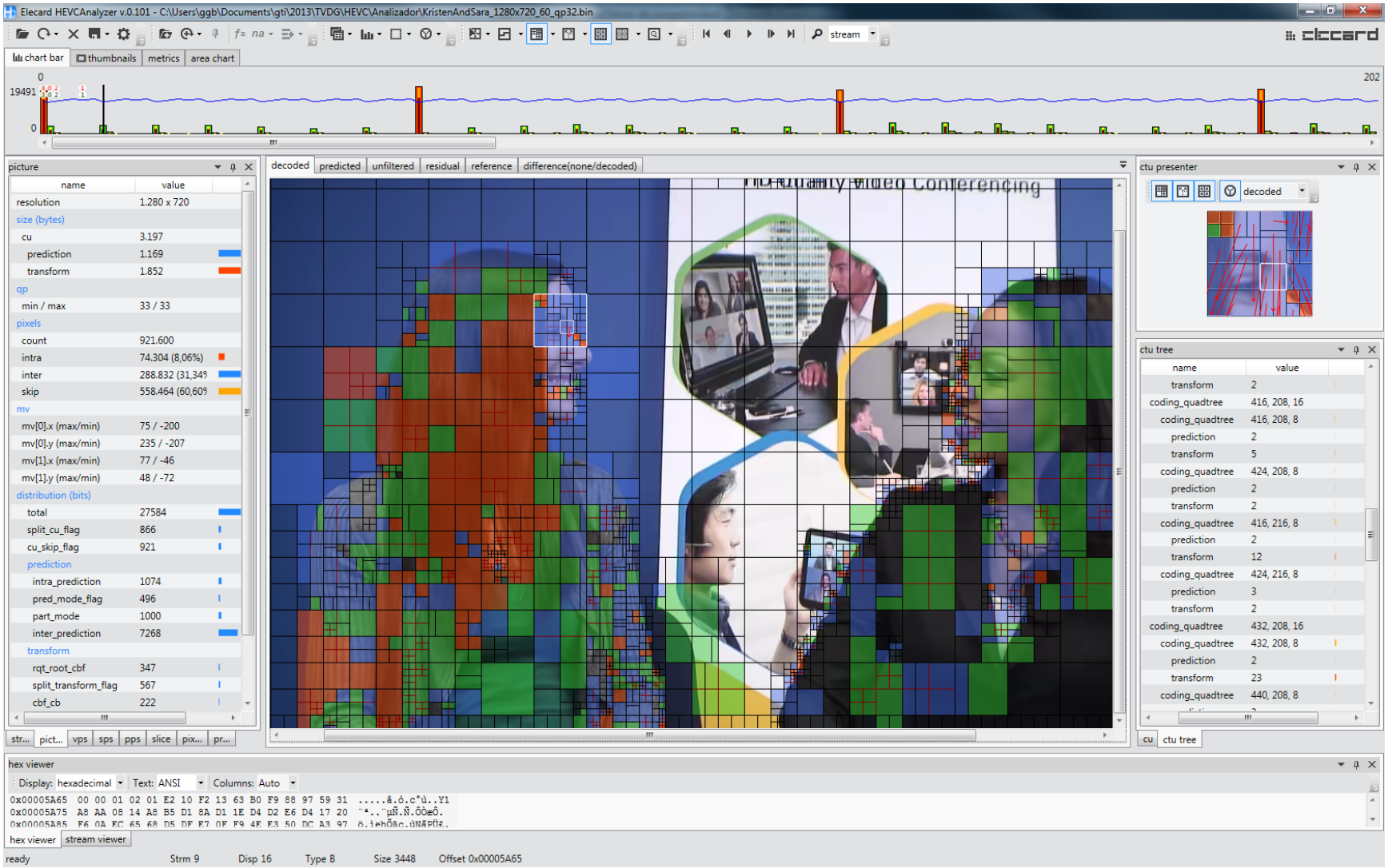
4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (5)



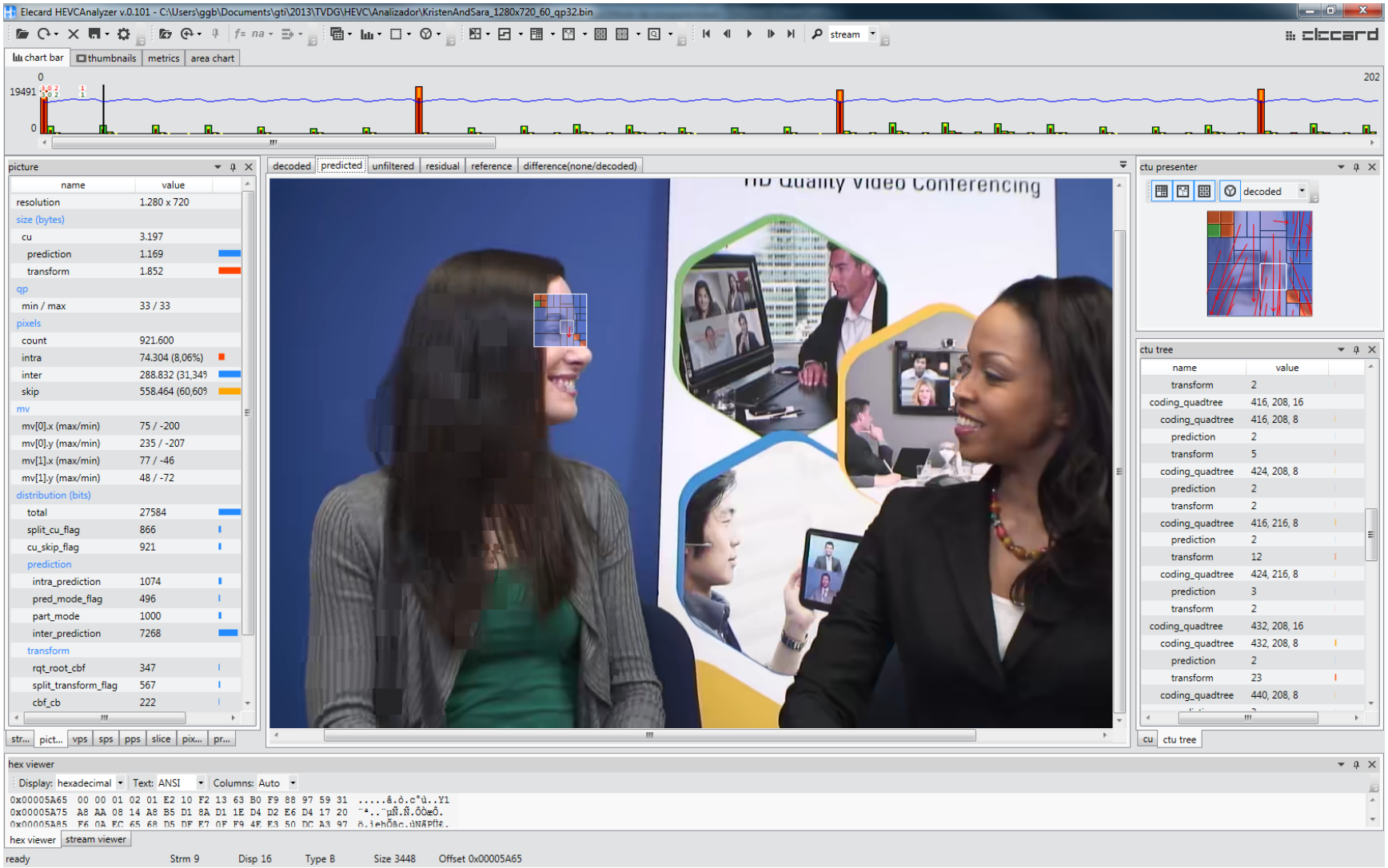
4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (6)



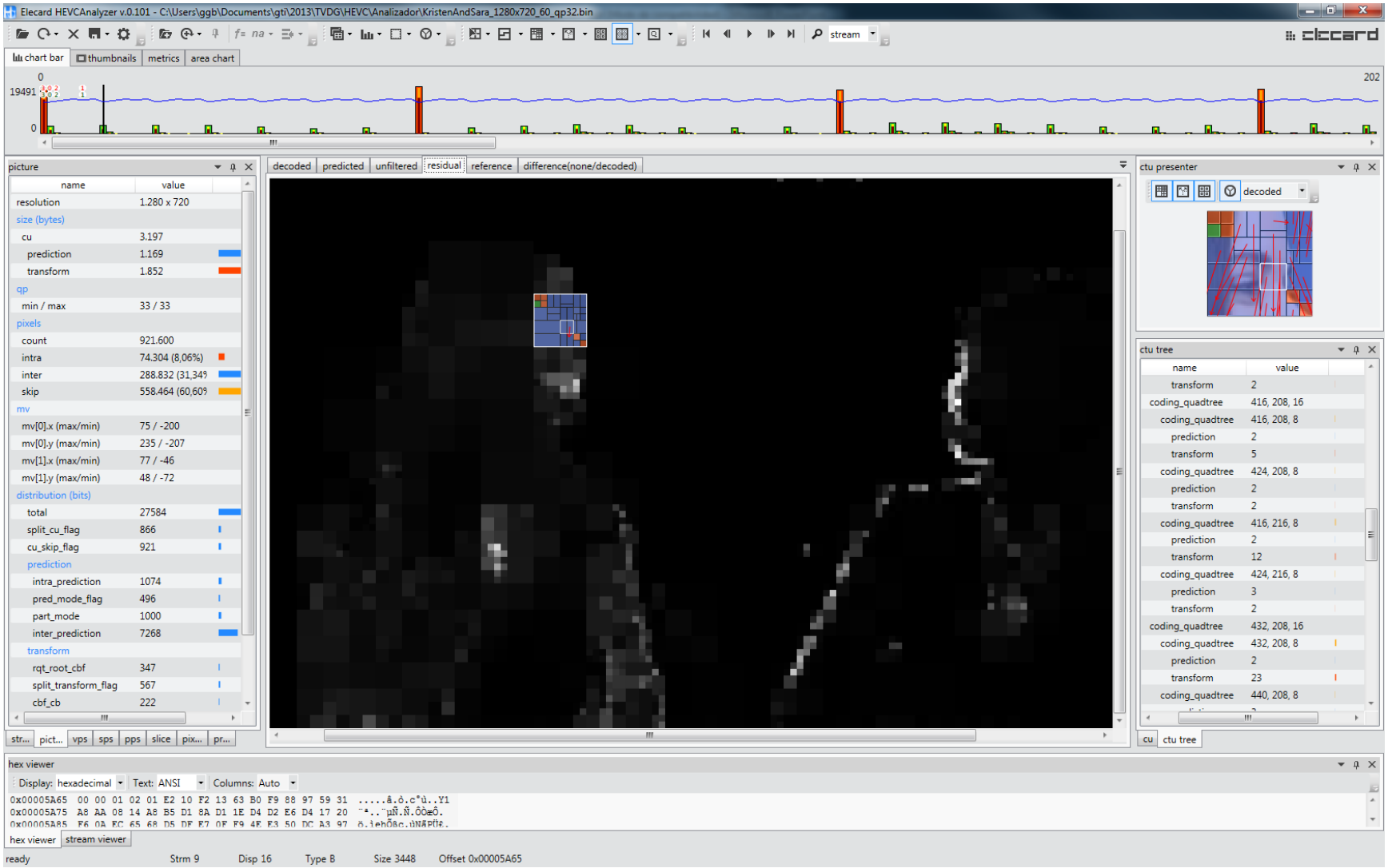
4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (7)



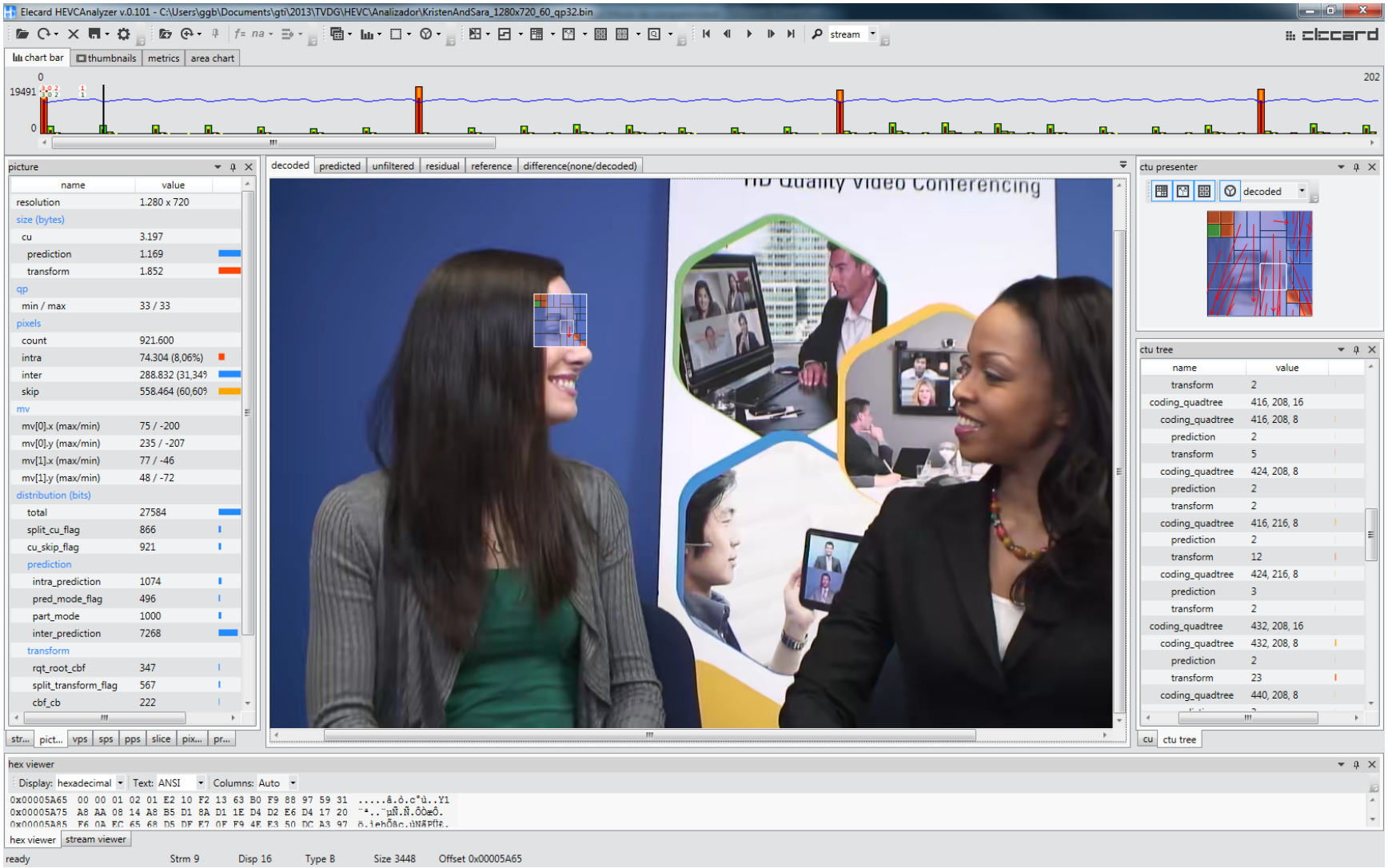
4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (8)



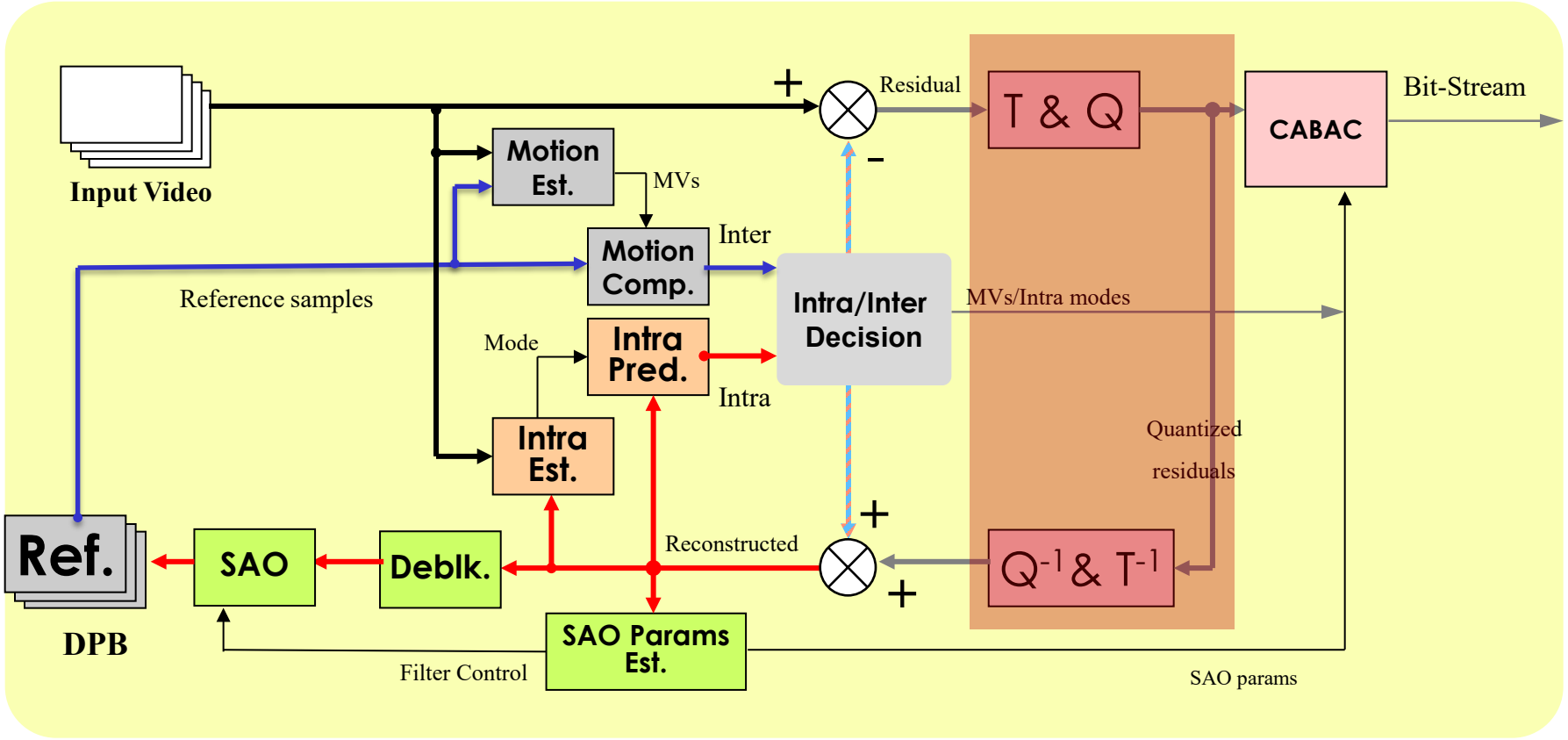
4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (10)



4.3 – Ejemplo: *Elecard HEVC analyzer* (9)



5 – Transformación (1)



5 – Transformación (2)

- Principales características:
  - Tanto la transformación como la cuantificación (y el escalado) se aplican a nivel de TB (partiendo de imágenes de error).
  - Cada tamaño de TB (4x4, 8x8, 16x16 y 32x32) requiere una transformación distinta.
  - Se aplica una transformación principal a todos los TB (*core transform*) y una adicional sólo a los TB de luminancia codificados en modo intra y de tamaño 4x4.

5 – Transformación (3)

- Transformación básica (*core transform*):
  - A cada TB se le aplica una transformada 2-D → Concatenando una transformación 1-D horizontal y otra 1-D vertical.
  - Los elementos de la matriz de transformación se han obtenido de aproximaciones de valores escalados de la DCT.
    - Similar a lo que se hace en AVC → Para mejorar la eficiencia computacional.
  - Por simplicidad, se utiliza una única matriz de 32x32 muestras.
    - Para TB de menor tamaño se submuestrea.
  - HEVC (al igual que estándares previos) sólo define la matriz inversa.
    - Para que no haya pérdidas en la transformación, la matriz de transformación se diseña para que, concatenada con la inversa, no produzca pérdidas → Es la que vamos a analizar en las siguientes diapositivas.

5 – Transformación (4)

Matriz de 32x32

transMatrixCol0to15 =

```
{
{64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64}
{90  90  88  85  82  78  73  67  61  54  46  38  31  22  13   4}
{90  87  80  70  57  43  25   9  -9 -25 -43 -57 -70 -80 -87 -90}
{90  82  67  46  22  -4 -31 -54 -73 -85 -90 -88 -78 -61 -38 -13}
{89  75  50  18 -18 -50 -75 -89 -89 -75 -50 -18  18  50  75  89}
{88  67  31 -13 -54 -82 -90 -78 -46  -4  38  73  90  85  61  22}
{87  57   9 -43 -80 -90 -70 -25  25  70  90  80  43  -9 -57 -87}
{85  46 -13 -67 -90 -73 -22  38  82  88  54  -4 -61 -90 -78 -31}
{83  36 -36 -83 -83 -36  36  83  83  36 -36 -83 -83 -36  36  83}
{82  22 -54 -90 -61  13  78  85  31 -46 -90 -67   4  73  88  38}
{80   9 -70 -87 -25  57  90  43 -43 -90 -57  25  87  70  -9 -80}
{78  -4 -82 -73  13  85  67 -22 -88 -61  31  90  54 -38 -90 -46}
{75 -18 -89 -50  50  89  18 -75 -75  18  89  50 -50 -89 -18  75}
{73 -31 -90 -22  78  67 -38 -90 -13  82  61 -46 -88  -4  85  54}
{70 -43 -87   9  90  25 -80 -57  57  80 -25 -90  -9  87  43 -70}
{67 -54 -78  38  85 -22 -90   4  90  13 -88 -31  82  46 -73 -61}
{64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64}
{61 -73 -46  82  31 -88 -13  90  -4 -90  22  85 -38 -78  54  67}
{57 -80 -25  90  -9 -87  43  70 -70 -43  87   9 -90  25  80 -57}
{54 -85  -4  88 -46 -61  82  13 -90  38  67 -78 -22  90 -31 -73}
{50 -89  18  75 -75 -18  89 -50 -50  89 -18 -75  75  18 -89  50}
{46 -90  38  54 -90  31  61 -88  22  67 -85  13  73 -82   4  78}
{43 -90  57  25 -87  70   9 -80  80  -9 -70  87 -25 -57  90 -43}
{38 -88  73  -4 -67  90 -46 -31  85 -78  13  61 -90  54  22 -82}
{36 -83  83 -36 -36  83 -83  36  36 -83  83 -36 -36  83 -83  36}
{31 -78  90 -61   4  54 -88  82 -38 -22  73 -90  67 -13 -46  85}
{25 -70  90 -80  43   9 -57  87 -87  57  -9 -43  80 -90  70 -25}
{22 -61  85 -90  73 -38  -4  46 -78  90 -82  54 -13 -31  67 -88}
{18 -50  75 -89  89 -75  50 -18 -18  50 -75  89 -89  75 -50  18}
{13 -38  61 -78  88 -90  85 -73  54 -31   4  22 -46  67 -82  90}
{ 9 -25  43 -57  70 -80  87 -90  90 -87  80 -70  57 -43  25  -9}
{ 4 -13  22 -31  38 -46  54 -61  67 -73  78 -82  85 -88  90 -90}
},
```

transMatrixCol16to31 =

```
{
{ 64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64}
{ -4 -13 -22 -31 -38 -46 -54 -61 -67 -73 -78 -82 -85 -88 -90 -90}
{-90 -87 -80 -70 -57 -43 -25  -9   9  25  43  57  70  80  87  90}
{ 13  38  61  78  88  90  85  73  54  31   4 -22 -46 -67 -82 -90}
{ 89  75  50  18 -18 -50 -75 -89 -89 -75 -50 -18  18  50  75  89}
{-22 -61 -85 -90 -73 -38   4  46  78  90  82  54  13 -31 -67 -88}
{-87 -57  -9  43  80  90  70  25 -25 -70 -90 -80 -43   9  57  87}
{ 31  78  90  61   4 -54 -88 -82 -38  22  73  90  67  13 -46 -85}
{ 83  36 -36 -83 -83 -36  36  83  83  36 -36 -83 -83 -36  36  83}
{-38 -88 -73  -4  67  90  46 -31 -85 -78 -13  61  90  54 -22 -82}
{-80  -9  70  87  25 -57 -90 -43  43  90  57 -25 -87 -70   9  80}
{ 46  90  38 -54 -90 -31  61  88  22 -67 -85 -13  73  82   4 -78}
{ 75 -18 -89 -50  50  89  18 -75 -75  18  89  50 -50 -89 -18  75}
{-54 -85   4  88  46 -61 -82  13  90  38 -67 -78  22  90  31 -73}
{-70  43  87  -9 -90 -25  80  57 -57 -80  25  90   9 -87 -43  70}
{ 61  73 -46 -82  31  88 -13 -90  -4  90  22 -85 -38  78  54 -67}
{ 64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64}
{-67 -54  78  38 -85 -22  90   4 -90  13  88 -31 -82  46  73 -61}
{-57  80  25 -90   9  87 -43 -70  70  43 -87  -9  90 -25 -80  57}
{ 73  31 -90  22  78 -67 -38  90 -13 -82  61  46 -88   4  85 -54}
{ 50 -89  18  75 -75 -18  89 -50 -50  89 -18 -75  75  18 -89  50}
{-78  -4  82 -73 -13  85 -67 -22  88 -61 -31  90 -54 -38  90 -46}
{-43  90 -57 -25  87 -70  -9  80 -80   9  70 -87  25  57 -90  43}
{ 82 -22 -54  90 -61 -13  78 -85  31  46 -90  67   4 -73  88 -38}
{ 36 -83  83 -36 -36  83 -83  36  36 -83  83 -36 -36  83 -83  36}
{-85  46  13 -67  90 -73  22  38 -82  88 -54  -4  61 -90  78 -31}
{-25  70 -90  80 -43  -9  57 -87  87 -57   9  43 -80  90 -70  25}
{ 88 -67  31  13 -54  82 -90  78 -46   4  38 -73  90 -85  61 -22}
{ 18 -50  75 -89  89 -75  50 -18 -18  50 -75  89 -89  75 -50  18}
{-90  82 -67  46 -22  -4  31 -54  73 -85  90 -88  78 -61  38 -13}
{ -9  25 -43  57 -70  80 -87  90 -90  87 -80  70 -57  43 -25   9}
{ 90 -90  88 -85  82 -78  73 -67  61 -54  46 -38  31 -22  13  -4}
}
```

5 – Transformación (5)

Matriz de 16x16

transMatrixCol0to15 =

```
{
{64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64}
{90  90  88  85  82  78  73  67  61  54  46  38  31  22  13   4}
{90  87  80  70  57  43  25   9  -9 -25 -43 -57 -70 -80 -87 -90}
{90  82  67  46  22  -4 -31 -54 -73 -85 -90 -88 -78 -61 -38 -13}
{89  75  50  18 -18 -50 -75 -89 -89 -75 -50 -18  18  50  75  89}
{88  67  31 -13 -54 -82 -90 -78 -46  -4  38  73  90  85  61  22}
{87  57   9 -43 -80 -90 -70 -25  25  70  90  80  43  -9 -57 -87}
{85  46 -13 -67 -90 -73 -22  38  82  88  54  -4 -61 -90 -78 -31}
{83  36 -36 -83 -83 -36  36  83  83  36 -36 -83 -83 -36  36  83}
{82  22 -54 -90 -61  13  78  85  31 -46 -90 -67   4  73  88  38}
{80   9 -70 -87 -25  57  90  43 -43 -90 -57  25  87  70  -9 -80}
{78  -4 -82 -73  13  85  67 -22 -88 -61  31  90  54 -38 -90 -46}
{75 -18 -89 -50  50  89  18 -75 -75  18  89  50 -50 -89 -18  75}
{73 -31 -90 -22  78  67 -38 -90 -13  82  61 -46 -88  -4  85  54}
{70 -43 -87   9  90  25 -80 -57  57  80 -25 -90  -9  87  43 -70}
{67 -54 -78  38  85 -22 -90   4  90  13 -88 -31  82  46 -73 -61}
{64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64}
{61 -73 -46  82  31 -88 -13  90  -4 -90  22  85 -38 -78  54  67}
{57 -80 -25  90  -9 -87  43  70 -70 -43  87   9 -90  25  80 -57}
{54 -85  -4  88 -46 -61  82  13 -90  38  67 -78 -22  90 -31 -73}
{50 -89  18  75 -75 -18  89 -50 -50  89 -18 -75  75  18 -89  50}
{46 -90  38  54 -90  31  61 -88  22  67 -85  13  73 -82   4  78}
{43 -90  57  25 -87  70   9 -80  80  -9 -70  87 -25 -57  90 -43}
{38 -88  73  -4 -67  90 -46 -31  85 -78  13  61 -90  54  22 -82}
{36 -83  83 -36 -36  83 -83  36  36 -83  83 -36 -36  83 -83  36}
{31 -78  90 -61   4  54 -88  82 -38 -22  73 -90  67 -13 -46  85}
{25 -70  90 -80  43   9 -57  87 -87  57  -9 -43  80 -90  70 -25}
{22 -61  85 -90  73 -38  -4  46 -78  90 -82  54 -13 -31  67 -88}
{18 -50  75 -89  89 -75  50 -18 -18  50 -75  89 -89  75 -50  18}
{13 -38  61 -78  88 -90  85 -73  54 -31   4  22 -46  67 -82  90}
{ 9 -25  43 -57  70 -80  87 -90  90 -87  80 -70  57 -43  25  -9}
{ 4 -13  22 -31  38 -46  54 -61  67 -73  78 -82  85 -88  90 -90}
},
```

transMatrixCol16to31 =

```
{
{ 64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64}
{ -4 -13 -22 -31 -38 -46 -54 -61 -67 -73 -78 -82 -85 -88 -90 -90}
{-90 -87 -80 -70 -57 -43 -25  -9   9  25  43  57  70  80  87  90}
{ 13  38  61  78  88  90  85  73  54  31   4 -22 -46 -67 -82 -90}
{ 89  75  50  18 -18 -50 -75 -89 -89 -75 -50 -18  18  50  75  89}
{-22 -61 -85 -90 -73 -38   4  46  78  90  82  54  13 -31 -67 -88}
{-87 -57  -9  43  80  90  70  25 -25 -70 -90 -80 -43   9  57  87}
{ 31  78  90  61   4 -54 -88 -82 -38  22  73  90  67  13 -46 -85}
{ 83  36 -36 -83 -83 -36  36  83  83  36 -36 -83 -83 -36  36  83}
{-38 -88 -73  -4  67  90  46 -31 -85 -78 -13  61  90  54 -22 -82}
{-80  -9  70  87  25 -57 -90 -43  43  90  57 -25 -87 -70   9  80}
{ 46  90  38 -54 -90 -31  61  88  22 -67 -85 -13  73  82   4 -78}
{ 75 -18 -89 -50  50  89  18 -75 -75  18  89  50 -50 -89 -18  75}
{-54 -85   4  88  46 -61 -82  13  90  38 -67 -78  22  90  31 -73}
{-70  43  87  -9 -90 -25  80  57 -57 -80  25  90   9 -87 -43  70}
{ 61  73 -46 -82  31  88 -13 -90  -4  90  22 -85 -38  78  54 -67}
{ 64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64}
{-67 -54  78  38 -85 -22  90   4 -90  13  88 -31 -82  46  73 -61}
{-57  80  25 -90   9  87 -43 -70  70  43 -87  -9  90 -25 -80  57}
{ 73  31 -90  22  78 -67 -38  90 -13 -82  61  46 -88   4  85 -54}
{ 50 -89  18  75 -75 -18  89 -50 -50  89 -18 -75  75  18 -89  50}
{-78  -4  82 -73 -13  85 -67 -22  88 -61 -31  90 -54 -38  90 -46}
{-43  90 -57 -25  87 -70  -9  80 -80   9  70 -87  25  57 -90  43}
{ 82 -22 -54  90 -61 -13  78 -85  31  46 -90  67   4 -73  88 -38}
{ 36 -83  83 -36 -36  83 -83  36  36 -83  83 -36 -36  83 -83  36}
{-85  46  13 -67  90 -73  22  38 -82  88 -54  -4  61 -90  78 -31}
{-25  70 -90  80 -43  -9  57 -87  87 -57   9  43 -80  90 -70  25}
{ 88 -67  31  13 -54  82 -90  78 -46   4  38 -73  90 -85  61 -22}
{ 18 -50  75 -89  89 -75  50 -18 -18  50 -75  89 -89  75 -50  18}
{-90  82 -67  46 -22  -4  31 -54  73 -85  90 -88  78 -61  38 -13}
{ -9  25 -43  57 -70  80 -87  90 -90  87 -80  70 -57  43 -25   9}
{ 90 -90  88 -85  82 -78  73 -67  61 -54  46 -38  31 -22  13  -4}
}
```

5 – Transformación (6)

Matriz de 8x8

transMatrixCol0to15 =

```
{
{64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64}
{90  90  88  85  82  78  73  67  61  54  46  38  31  22  13   4}
{90  87  80  70  57  43  25   9  -9 -25 -43 -57 -70 -80 -87 -90}
{90  82  67  46  22  -4 -31 -54 -73 -85 -90 -88 -78 -61 -38 -13}
{89  75  50  18 -18 -50 -75 -89 -89 -75 -50 -18  18  50  75  89}
{88  67  31 -13 -54 -82 -90 -78 -46  -4  38  73  90  85  61  22}
{87  57   9 -43 -80 -90 -70 -25  25  70  90  80  43  -9 -57 -87}
{85  46 -13 -67 -90 -73 -22  38  82  88  54  -4 -61 -90 -78 -31}
{83  36 -36 -83 -83 -36  36  83  83  36 -36 -83 -83 -36  36  83}
{82  22 -54 -90 -61  13  78  85  31 -46 -90 -67   4  73  88  38}
{80   9 -70 -87 -25  57  90  43 -43 -90 -57  25  87  70  -9 -80}
{78  -4 -82 -73  13  85  67 -22 -88 -61  31  90  54 -38 -90 -46}
{75 -18 -89 -50  50  89  18 -75 -75  18  89  50 -50 -89 -18  75}
{73 -31 -90 -22  78  67 -38 -90 -13  82  61 -46 -88  -4  85  54}
{70 -43 -87   9  90  25 -80 -57  57  80 -25 -90  -9  87  43 -70}
{67 -54 -78  38  85 -22 -90   4  90  13 -88 -31  82  46 -73 -61}
{64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64}
{61 -73 -46  82  31 -88 -13  90  -4 -90  22  85 -38 -78  54  67}
{57 -80 -25  90  -9 -87  43  70 -70 -43  87   9 -90  25  80 -57}
{54 -85  -4  88 -46 -61  82  13 -90  38  67 -78 -22  90 -31 -73}
{50 -89  18  75 -75 -18  89 -50 -50  89 -18 -75  75  18 -89  50}
{46 -90  38  54 -90  31  61 -88  22  67 -85  13  73 -82   4  78}
{43 -90  57  25 -87  70   9 -80  80  -9 -70  87 -25 -57  90 -43}
{38 -88  73  -4 -67  90 -46 -31  85 -78  13  61 -90  54  22 -82}
{36 -83  83 -36 -36  83 -83  36  36 -83  83 -36 -36  83 -83  36}
{31 -78  90 -61   4  54 -88  82 -38 -22  73 -90  67 -13 -46  85}
{25 -70  90 -80  43   9 -57  87 -87  57  -9 -43  80 -90  70 -25}
{22 -61  85 -90  73 -38  -4  46 -78  90 -82  54 -13 -31  67 -88}
{18 -50  75 -89  89 -75  50 -18 -18  50 -75  89 -89  75 -50  18}
{13 -38  61 -78  88 -90  85 -73  54 -31   4  22 -46  67 -82  90}
{ 9 -25  43 -57  70 -80  87 -90  90 -87  80 -70  57 -43  25  -9}
{ 4 -13  22 -31  38 -46  54 -61  67 -73  78 -82  85 -88  90 -90}
},
```

transMatrixCol16to31 =

```
{
{ 64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64}
{ -4 -13 -22 -31 -38 -46 -54 -61 -67 -73 -78 -82 -85 -88 -90 -90}
{-90 -87 -80 -70 -57 -43 -25  -9   9  25  43  57  70  80  87  90}
{ 13  38  61  78  88  90  85  73  54  31   4 -22 -46 -67 -82 -90}
{ 89  75  50  18 -18 -50 -75 -89 -89 -75 -50 -18  18  50  75  89}
{-22 -61 -85 -90 -73 -38   4  46  78  90  82  54  13 -31 -67 -88}
{-87 -57  -9  43  80  90  70  25 -25 -70 -90 -80 -43   9  57  87}
{ 31  78  90  61   4 -54 -88 -82 -38  22  73  90  67  13 -46 -85}
{ 83  36 -36 -83 -83 -36  36  83  83  36 -36 -83 -83 -36  36  83}
{-38 -88 -73  -4  67  90  46 -31 -85 -78 -13  61  90  54 -22 -82}
{-80  -9  70  87  25 -57 -90 -43  43  90  57 -25 -87 -70   9  80}
{ 46  90  38 -54 -90 -31  61  88  22 -67 -85 -13  73  82   4 -78}
{ 75 -18 -89 -50  50  89  18 -75 -75  18  89  50 -50 -89 -18  75}
{-54 -85   4  88  46 -61 -82  13  90  38 -67 -78  22  90  31 -73}
{-70  43  87  -9 -90 -25  80  57 -57 -80  25  90   9 -87 -43  70}
{ 61  73 -46 -82  31  88 -13 -90  -4  90  22 -85 -38  78  54 -67}
{ 64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64}
{-67 -54  78  38 -85 -22  90   4 -90  13  88 -31 -82  46  73 -61}
{-57  80  25 -90   9  87 -43 -70  70  43 -87  -9  90 -25 -80  57}
{ 73  31 -90  22  78 -67 -38  90 -13 -82  61  46 -88   4  85 -54}
{ 50 -89  18  75 -75 -18  89 -50 -50  89 -18 -75  75  18 -89  50}
{-78  -4  82 -73 -13  85 -67 -22  88 -61 -31  90 -54 -38  90 -46}
{-43  90 -57 -25  87 -70  -9  80 -80   9  70 -87  25  57 -90  43}
{ 82 -22 -54  90 -61 -13  78 -85  31  46 -90  67   4 -73  88 -38}
{ 36 -83  83 -36 -36  83 -83  36  36 -83  83 -36 -36  83 -83  36}
{-85  46  13 -67  90 -73  22  38 -82  88 -54  -4  61 -90  78 -31}
{-25  70 -90  80 -43  -9  57 -87  87 -57   9  43 -80  90 -70  25}
{ 88 -67  31  13 -54  82 -90  78 -46   4  38 -73  90 -85  61 -22}
{ 18 -50  75 -89  89 -75  50 -18 -18  50 -75  89 -89  75 -50  18}
{-90  82 -67  46 -22  -4  31 -54  73 -85  90 -88  78 -61  38 -13}
{ -9  25 -43  57 -70  80 -87  90 -90  87 -80  70 -57  43 -25   9}
{ 90 -90  88 -85  82 -78  73 -67  61 -54  46 -38  31 -22  13  -4}
}
```

5 – Transformación (7)

Matriz de 4x4

transMatrixCol0to15 =

```
{
{64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64}
{90  90  88  85  82  78  73  67  61  54  46  38  31  22  13   4}
{90  87  80  70  57  43  25   9  -9 -25 -43 -57 -70 -80 -87 -90}
{90  82  67  46  22  -4 -31 -54 -73 -85 -90 -88 -78 -61 -38 -13}
{89  75  50  18 -18 -50 -75 -89 -89 -75 -50 -18  18  50  75  89}
{88  67  31 -13 -54 -82 -90 -78 -46  -4  38  73  90  85  61  22}
{87  57   9 -43 -80 -90 -70 -25  25  70  90  80  43  -9 -57 -87}
{85  46 -13 -67 -90 -73 -22  38  82  88  54  -4 -61 -90 -78 -31}
{83  36 -36 -83 -83 -36  36  83  83  36 -36 -83 -83 -36  36  83}
{82  22 -54 -90 -61  13  78  85  31 -46 -90 -67   4  73  88  38}
{80   9 -70 -87 -25  57  90  43 -43 -90 -57  25  87  70  -9 -80}
{78  -4 -82 -73  13  85  67 -22 -88 -61  31  90  54 -38 -90 -46}
{75 -18 -89 -50  50  89  18 -75 -75  18  89  50 -50 -89 -18  75}
{73 -31 -90 -22  78  67 -38 -90 -13  82  61 -46 -88  -4  85  54}
{70 -43 -87   9  90  25 -80 -57  57  80 -25 -90  -9  87  43 -70}
{67 -54 -78  38  85 -22 -90   4  90  13 -88 -31  82  46 -73 -61}
{64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64}
{61 -73 -46  82  31 -88 -13  90  -4 -90  22  85 -38 -78  54  67}
{57 -80 -25  90  -9 -87  43  70 -70 -43  87   9 -90  25  80 -57}
{54 -85  -4  88 -46 -61  82  13 -90  38  67 -78 -22  90 -31 -73}
{50 -89  18  75 -75 -18  89 -50 -50  89 -18 -75  75  18 -89  50}
{46 -90  38  54 -90  31  61 -88  22  67 -85  13  73 -82   4  78}
{43 -90  57  25 -87  70   9 -80  80  -9 -70  87 -25 -57  90 -43}
{38 -88  73  -4 -67  90 -46 -31  85 -78  13  61 -90  54  22 -82}
{36 -83  83 -36 -36  83 -83  36  36 -83  83 -36 -36  83 -83  36}
{31 -78  90 -61   4  54 -88  82 -38 -22  73 -90  67 -13 -46  85}
{25 -70  90 -80  43   9 -57  87 -87  57  -9 -43  80 -90  70 -25}
{22 -61  85 -90  73 -38  -4  46 -78  90 -82  54 -13 -31  67 -88}
{18 -50  75 -89  89 -75  50 -18 -18  50 -75  89 -89  75 -50  18}
{13 -38  61 -78  88 -90  85 -73  54 -31   4  22 -46  67 -82  90}
{ 9 -25  43 -57  70 -80  87 -90  90 -87  80 -70  57 -43  25  -9}
{ 4 -13  22 -31  38 -46  54 -61  67 -73  78 -82  85 -88  90 -90}
},
```

transMatrixCol16to31 =

```
{
{ 64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64}
{ -4 -13 -22 -31 -38 -46 -54 -61 -67 -73 -78 -82 -85 -88 -90 -90}
{-90 -87 -80 -70 -57 -43 -25  -9   9  25  43  57  70  80  87  90}
{ 13  38  61  78  88  90  85  73  54  31   4 -22 -46 -67 -82 -90}
{ 89  75  50  18 -18 -50 -75 -89 -89 -75 -50 -18  18  50  75  89}
{-22 -61 -85 -90 -73 -38   4  46  78  90  82  54  13 -31 -67 -88}
{-87 -57  -9  43  80  90  70  25 -25 -70 -90 -80 -43   9  57  87}
{ 31  78  90  61   4 -54 -88 -82 -38  22  73  90  67  13 -46 -85}
{ 83  36 -36 -83 -83 -36  36  83  83  36 -36 -83 -83 -36  36  83}
{-38 -88 -73  -4  67  90  46 -31 -85 -78 -13  61  90  54 -22 -82}
{-80  -9  70  87  25 -57 -90 -43  43  90  57 -25 -87 -70   9  80}
{ 46  90  38 -54 -90 -31  61  88  22 -67 -85 -13  73  82   4 -78}
{ 75 -18 -89 -50  50  89  18 -75 -75  18  89  50 -50 -89 -18  75}
{-54 -85   4  88  46 -61 -82  13  90  38 -67 -78  22  90  31 -73}
{-70  43  87  -9 -90 -25  80  57 -57 -80  25  90   9 -87 -43  70}
{ 61  73 -46 -82  31  88 -13 -90  -4  90  22 -85 -38  78  54 -67}
{ 64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64  64 -64 -64  64}
{-67 -54  78  38 -85 -22  90   4 -90  13  88 -31 -82  46  73 -61}
{-57  80  25 -90   9  87 -43 -70  70  43 -87  -9  90 -25 -80  57}
{ 73  31 -90  22  78 -67 -38  90 -13 -82  61  46 -88   4  85 -54}
{ 50 -89  18  75 -75 -18  89 -50 -50  89 -18 -75  75  18 -89  50}
{-78  -4  82 -73 -13  85 -67 -22  88 -61 -31  90 -54 -38  90 -46}
{-43  90 -57 -25  87 -70  -9  80 -80   9  70 -87  25  57 -90  43}
{ 82 -22 -54  90 -61 -13  78 -85  31  46 -90  67   4 -73  88 -38}
{ 36 -83  83 -36 -36  83 -83  36  36 -83  83 -36 -36  83 -83  36}
{-85  46  13 -67  90 -73  22  38 -82  88 -54  -4  61 -90  78 -31}
{-25  70 -90  80 -43  -9  57 -87  87 -57   9  43 -80  90 -70  25}
{ 88 -67  31  13 -54  82 -90  78 -46   4  38 -73  90 -85  61 -22}
{ 18 -50  75 -89  89 -75  50 -18 -18  50 -75  89 -89  75 -50  18}
{-90  82 -67  46 -22  -4  31 -54  73 -85  90 -88  78 -61  38 -13}
{ -9  25 -43  57 -70  80 -87  90 -90  87 -80  70 -57  43 -25   9}
{ 90 -90  88 -85  82 -78  73 -67  61 -54  46 -38  31 -22  13  -4}
}
```

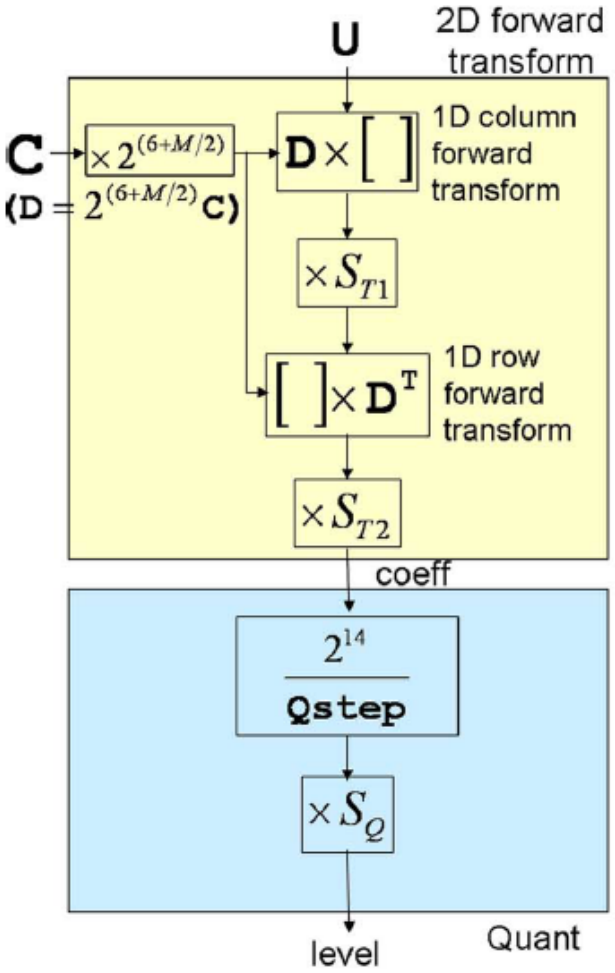
5 – Transformación (8)

- Transformación adicional 4x4:
  - Se aplica a TB de tamaño 4x4 (luminancia en modo intra).
  - Es una transformación derivada de la DST (*Discrete Sine Transform*).
  - Sólo a bloques de luminancia codificados en modo intra.
    - Son bloques que, en principio, requerirán mayor compresión.
    - Consigue reducir aproximadamente un 1% la tasa binaria de estos bloques.
    - Se ha comprobado que en otros bloques no vale la pena aplicarla.
  - La matriz utilizada es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} 29 & 55 & 74 & 84 \\ 74 & 74 & 0 & -74 \\ 84 & -29 & -74 & 55 \\ 55 & -84 & 74 & -29 \end{bmatrix}$$

5 – Transformación (9)

- Escalado:



- Dado que las matrices de transformación utilizadas están escaladas con respecto a la DCT, para mantener la ortonormalidad es necesario re-escalarlas.

- En este caso, el software de referencia de HEVC sí que especifica los valores que han de usarse en el codificador.

6 – Cuantificación (1)

- Se utiliza un cuantificador uniforme controlado por el parámetro *QP:*
  - Permite determinar el valor del escalón de cuantificación (Q_{STEP}).
  - Su valor se predice a partir del QP de los datos descodificados.
  - El número de valores posibles de QP depende de los bits que se utilicen:

BitDepth	8	9	10	11	12	13	14
Nº QP values	52	58	64	70	76	82	88
Range	0..51	0..57	0..63	0..69	0..77	0..81	0..87

6 – Cuantificación (2)

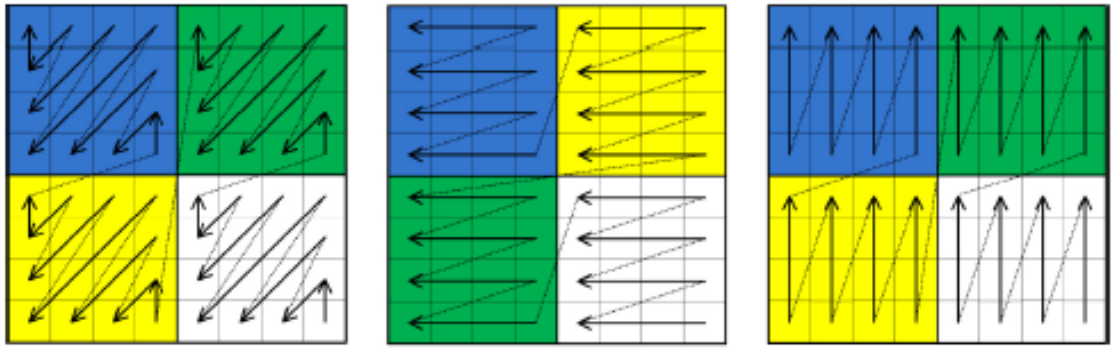
- Si se incrementa en 1 el valor de *QP* → El escalón de cuantificación aumenta aproximadamente un 12% ($2^{1/6}$).
- Por lo tanto:
  - Si se incrementa en 6 → El escalón se duplica.
  - Si se añade un bit → 6 valores más de *QP* → El doble de intervalos.
- La relación entre *QP* y Q_{STEP} se puede expresar como:

$$Q_{STEP}(QP) = \left(2^{1/6}\right)^{QP-4}$$

6 – Cuantificación (3)

- Cada TB se divide en sub-bloques de 4x4.
- Los coeficientes se recorren en orden inverso (abajo-derecha → arriba-izquierda).
- Un mapa de significancia indica qué coeficientes no son nulos.
- Se empieza a procesar el primer coeficiente no nulo encontrado y se sigue hasta llegar al coeficiente DC.

Existen 3 posibles modos para recorrer los bloques



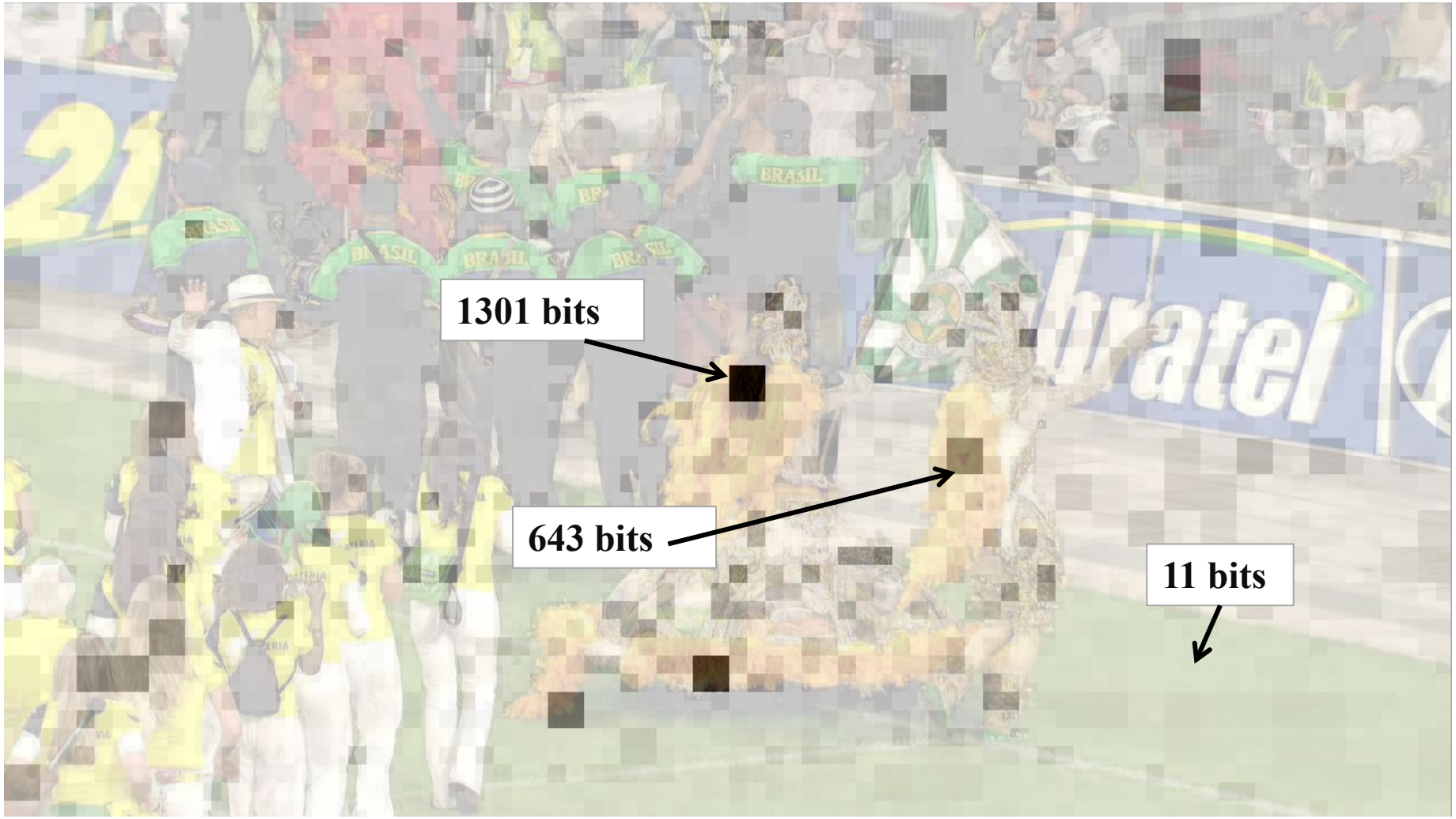
TU Size	Prediction Type	Scanning Order
4x4, 8x8	**Intra** (mode-dependent)	Vertical, Horizontal
All	**Intra** (mode-dependent), **Inter**	4x4 Sub-diagonal

6 – Cuantificación (3)

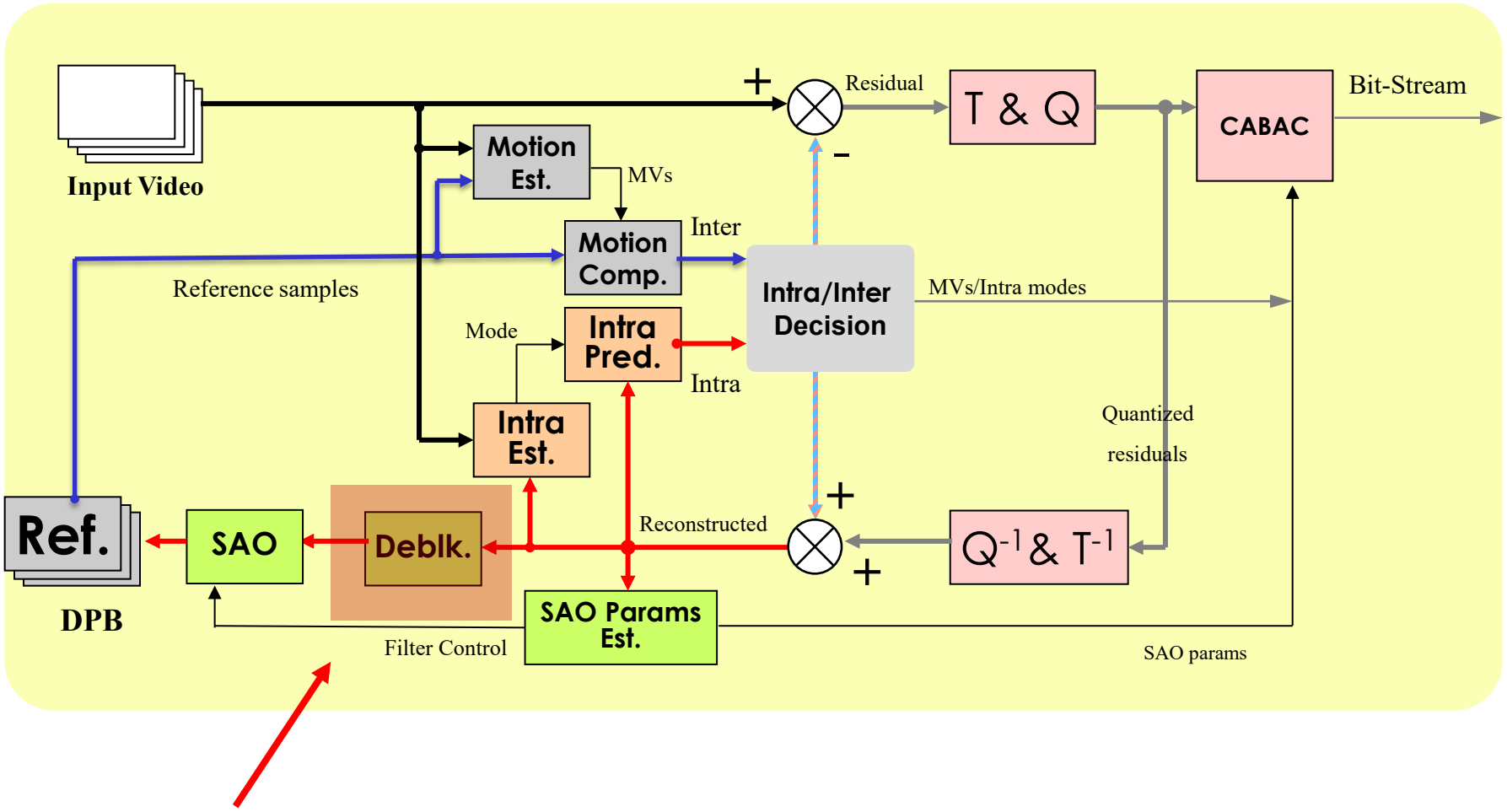
- Ejemplo:

6 – Cuantificación (4)

- Ejemplo:

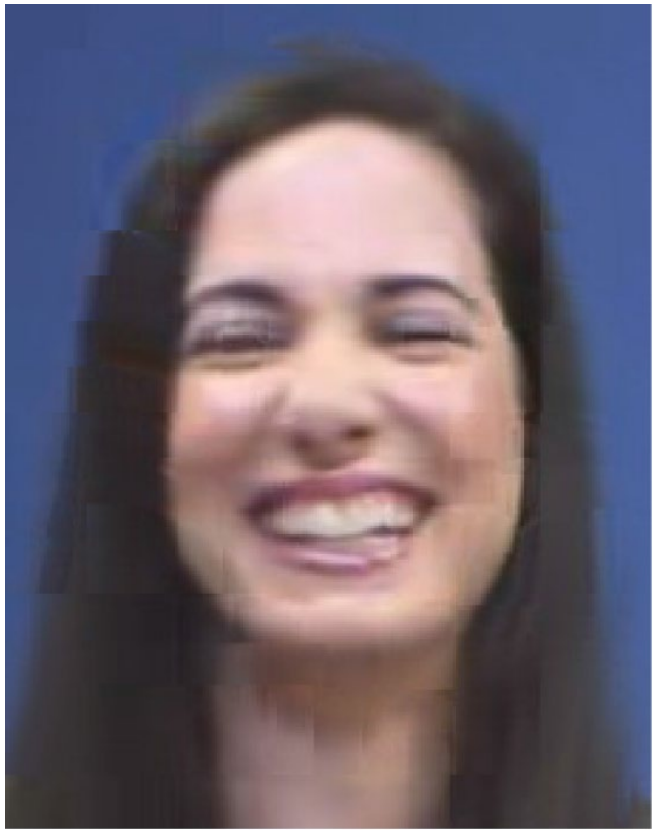


7 – Filtro de reconstrucción (1)



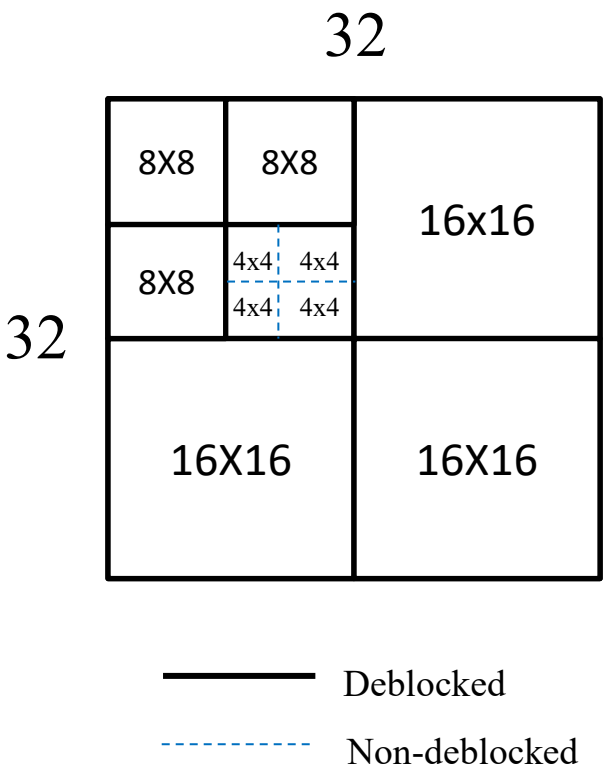
7 – Filtro de reconstrucción (2)

- Su objetivo es reducir la visibilidad entre fronteras de bloques.
- En comparación con el de AVC:
  - Menor complejidad computacional.
  - Mejor capacidad para su implementación en arquitecturas de procesamiento en paralelo.
  - Calidad similar.

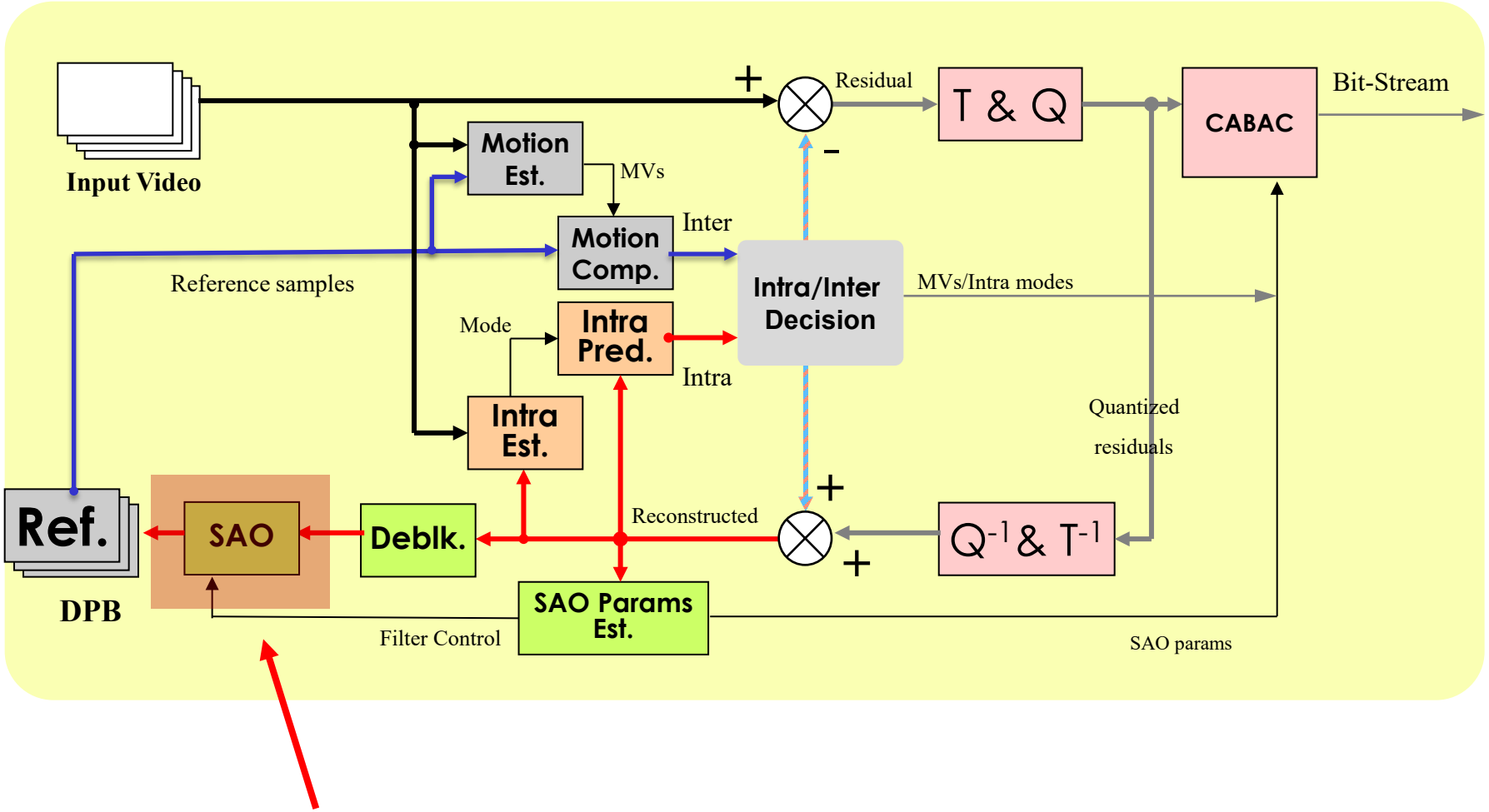


7 – Filtro de reconstrucción (2)

- El tipo de filtrado aplicado se basa en el análisis de los coeficientes descodificados a cada lado de las fronteras analizadas.
- El filtrado se aplica en todas las fronteras de PBs y TBs, con las siguientes excepciones:
  - Las fronteras de la imagen.
  - Las fronteras de una *slice* (cuando se desactiva la opción de filtrar a nivel de secuencia).
  - Las fronteras de una *tile* (idem).
- El tamaño mínimo de bloque filtrado es de 8x8 (en AVC era de 4x4).



8 – *Sample Adaptive Offset* - SAO (1)



8 – *Sample Adaptive Offset* - SAO (2)

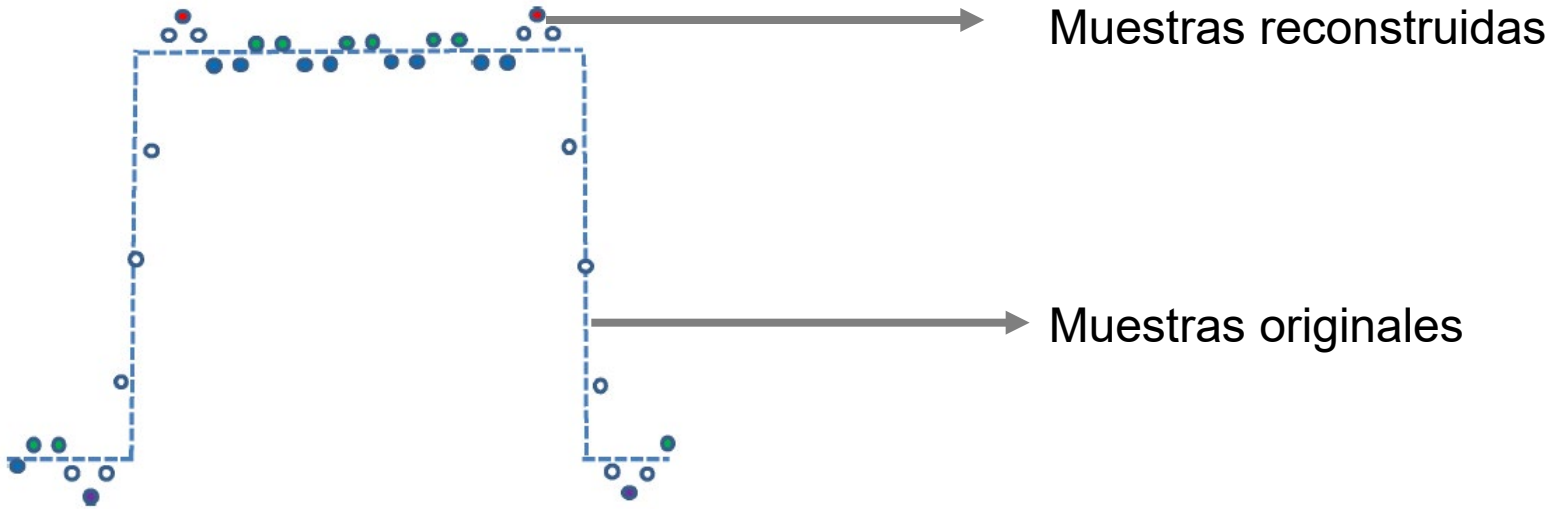
- Su objetivo es reducir la presencia de “artefactos” visuales que el filtro de reconstrucción no es capaz de eliminar:
  - Debidos a cuantificaciones demasiado groseras de algunos coeficientes transformados.
  - Efectos no seseados debidos al uso de la interpolación.

- Corrige la amplitud de las muestras descodificadas:
  - Aplica *offsets* almacenados en una tabla (*lookup table*) que se envían en el *bitstream*.

- Cuando mayor es el tamaño de las TUs, más importante es su uso.

8 – *Sample Adaptive Offset* - SAO (3)

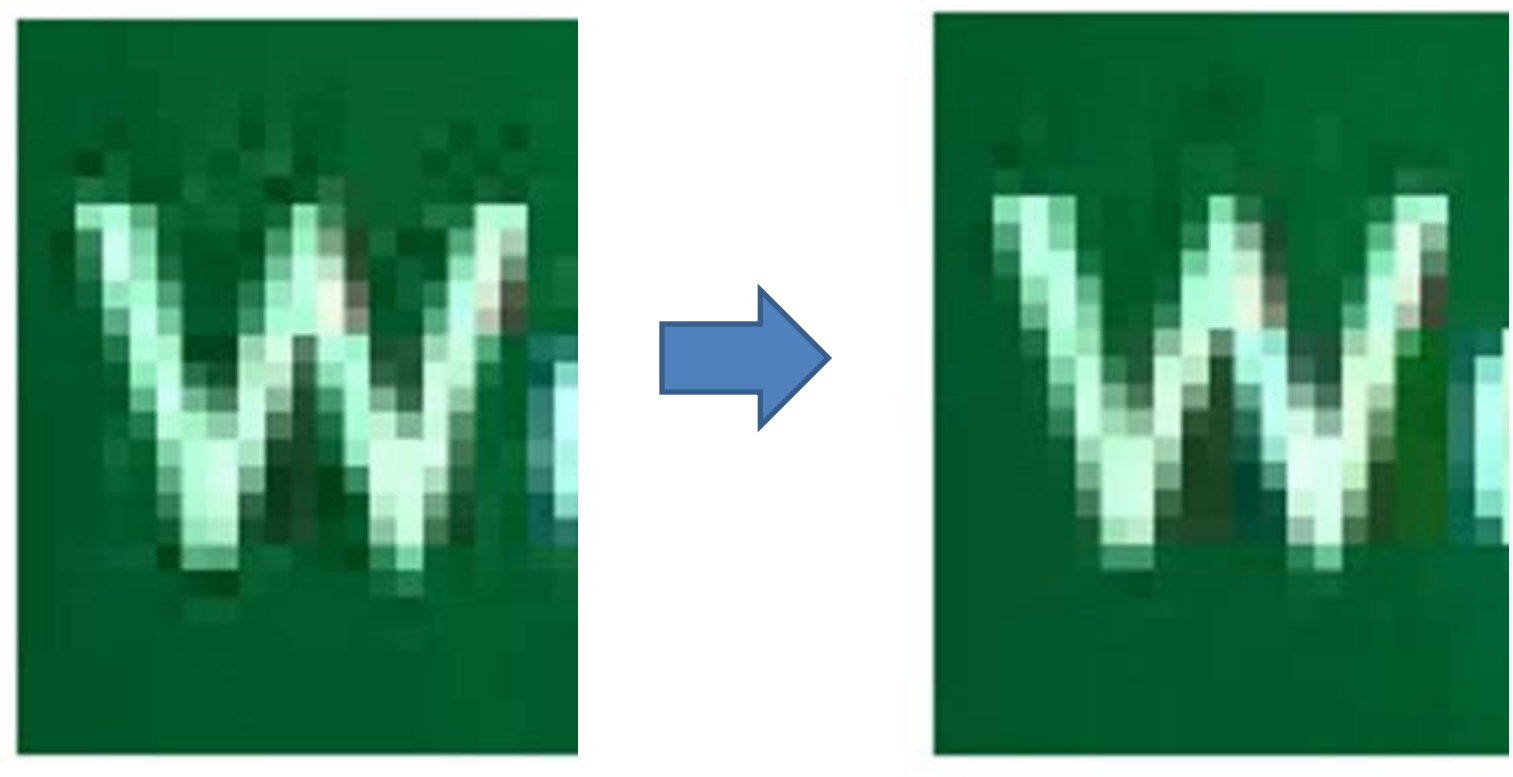
- Ejemplo:
  - La cuantificación hace que las muestras reconstruidas difieran de las originales.
  - El error de cuantificación no está distribuido uniformemente a lo largo de los píxeles (es mayor en los bordes).



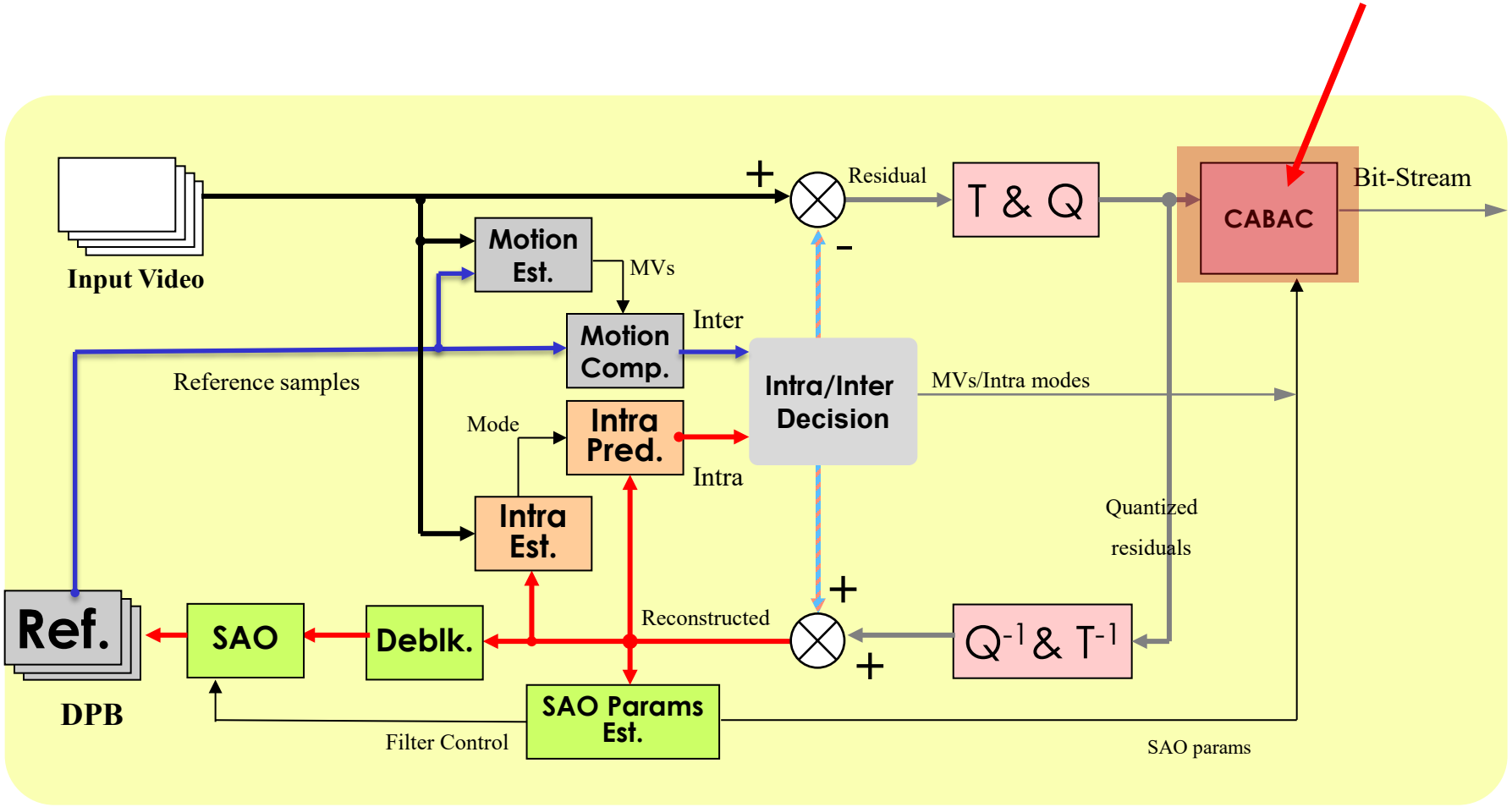
8 – *Sample Adaptive Offset* - SAO (4)

SAO desactivado (QP = 32)

SAO activado (QP = 32)



9 – Codificación (1)



9 – Codificación (2)

- HEVC propone el uso de un único método de codificación entrópica:
  - CABAC → *Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding*.
  - En AVC se permitía el uso de CABAC y CAVLC.
- HEVC-CABAC consta de 3 etapas:

1) Binarización → Mapear los datos a símbolos binarios (*bins*, *codewords*).
2) Modelado del contexto → Estimar la probabilidad de los *bins*.
3) Codificación aritmética → Compresión de los *bins* a partir de las probabilidades estimadas (usa la misma aritmética que AVC).