

Fundamentos Matemáticos y Físicos de la Asignación de VLANs e IPs en Redes Segmentadas

Introducción

El diseño de redes segmentadas con direccionamiento IP y VLANs no es simplemente una convención práctica de la ingeniería de redes, sino una consecuencia directa de la evolución matemática, física y lógica de las comunicaciones digitales. Este informe presenta las bases científicas que permiten comprender cómo se segmenta una red moderna en subredes lógicas, cómo se asignan los identificadores de capa 2 (VLANs) y capa 3 (IP), y por qué este avance representa un hito equivalente a la normalización del lenguaje binario para la computación.

Física del medio de transmisión y necesidad de segmentación

Toda comunicación de red se basa, en el fondo, en la propagación de señales electromagnéticas. Estas señales, ya sea en forma de ondas guiadas (como en cable UTP o fibra óptica) o de ondas radiadas (como en Wi-Fi), transportan información codificada a través de modulación de frecuencia, amplitud, o fase, según el medio.

La capacidad del canal está gobernada por la fórmula de Shannon:

$$C = B \cdot \log_2(1 + \text{SNR})$$

Donde:

- C es la capacidad del canal (bps),
- B es el ancho de banda del canal en Hz,
- SNR es la relación señal-ruido.

Esta fórmula establece un límite teórico sobre la cantidad de información que se puede transmitir con fiabilidad. A medida que aumenta la densidad de dispositivos, se incrementa el ruido, las colisiones y la latencia. Esto motivó la necesidad de **aislar dominios de colisión y difusión**, dando lugar a las **VLANs** y a las **subredes IP** como soluciones lógicas.

Fundamentos de las VLANs desde la teoría de grafos

Una VLAN (Virtual Local Area Network) no es una red física, sino una **partición lógica de una red conmutada**. Desde la teoría matemática, una red puede modelarse como un grafo no dirigido $G=(V,E)$, donde los vértices V son los dispositivos y los arcos E representan conexiones físicas.

Una VLAN define un **subgrafo inducido** que incluye solo aquellos vértices (nodos) que comparten una etiqueta de pertenencia, independientemente de su ubicación física. Esto permite:

- Controlar el broadcast y reducir su dominio,
- Aumentar la seguridad mediante aislamiento de tráfico,
- Aplicar políticas específicas según el subgrupo.

Cada VLAN se identifica por un **tag numérico de 12 bits**, lo que da un total de:

$2^{12} = 4096$ VLANs posibles

El rango válido es del 1 al 4094 (las VLANs 0 y 4095 están reservadas por norma IEEE 802.1Q).

Modelo matemático de direccionamiento IP: codificación jerárquica binaria

Las direcciones IP v4 son números binarios de 32 bits que permiten identificar dispositivos en una red. Su diseño se basa en un sistema de codificación jerárquico, que separa **prefijo de red** y **host** usando máscaras de subred.

Por ejemplo, una dirección:

192.168.10.0/24

significa que los primeros 24 bits identifican la red, y los últimos 8 están disponibles para dispositivos (hosts). Matemáticamente:

Total de hosts por subred = $2^{(32 - \text{prefijo})} - 2$

En este caso:

$2^8 - 2 = 254$ hosts utilizables

La sustracción de 2 se debe a la reserva de:

- Dirección de red (todos los bits del host en 0)
- Dirección de broadcast (todos los bits del host en 1)

Justificación tecnológica y social del direccionamiento privado

Las redes corporativas emplean rangos privados, definidos en la RFC 1918. Estos rangos no son enrutable globalmente, pero son óptimos para uso interno:

- 10.0.0.0/8 (más de 16 millones de direcciones)
- 172.16.0.0/12 (1 millón)
- 192.168.0.0/16 (65 mil)

Este modelo fue esencial para evitar el colapso del espacio de direcciones públicas en IPv4 y motivó la aparición de NAT (Network Address Translation), que traduce direcciones privadas a públicas en el borde de la red.

Correspondencia entre VLANs e IPs: construcción de una red segmentada

En un diseño de red moderno, la VLAN se asocia a una subred IP. Esto crea una equivalencia lógica:

- VLAN 10 → 192.168.10.0/24
- VLAN 20 → 192.168.20.0/24
- VLAN 30 → 192.168.30.0/24
- VLAN 40 (servidores) → 192.168.40.0/24
- VLAN 50 (invitados) → 192.168.50.0/24

Este modelo permite:

- Implementar ruteo inter-VLAN con políticas diferenciadas.
- Monitorear y restringir tráfico por segmento.
- Escalar fácilmente el esquema con una fórmula:

IP de la VLAN $n=192.168.n.0/24$ \text{IP de la VLAN } $n = 192.168.n.0/24$

Este patrón permite generar configuraciones automáticamente mediante scripts o controladores SDN, mejorando la agilidad de las operaciones.

Conclusión: una estructura basada en física, matemática y necesidad evolutiva

El direccionamiento IP y la segmentación por VLAN no son una invención arbitraria, sino una respuesta precisa a los límites físicos del medio, al crecimiento exponencial de dispositivos, y a la necesidad de control y seguridad. Detrás de cada subred hay una lógica binaria, una política de red y una estructura matemática bien definida.

Estos avances han permitido que las redes evolucionen de simples canales compartidos a infraestructuras inteligentes, programables, escalables y seguras. La relación entre identificadores lógicos (VLANs), direccionamiento jerárquico (IPs) y arquitectura física (topologías) constituye uno de los logros más sofisticados de la ingeniería de comunicaciones modernas.

